



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

**NÁVRH VÝROBY KOTVÍČÍHO PRVKU SOLÁRNÍHO
KOLEKTORU**

MANUFACTURING OF THE ANCHORING ELEMENT OF A SOLAR COLLECTOR

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Helena Svobodová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Eva Peterková, Ph.D.

BRNO 2017

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Studentka: **Bc. Helena Svobodová**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Strojírenská technologie a průmyslový management
Vedoucí práce: **Ing. Eva Peterková, Ph.D.**
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Návrh výroby kotvícího prvku solárního kolektoru

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o návrh výroby kotevního prvku pro uchycení solárního kolektoru na plechovou, šindelovou nebo eternitovou střechu. Dílec je prostorový, opatřený otvory a ohyby. Zadaná součást bude vyráběna technologií postupového stříhání a ohýbání.

Cíle diplomové práce:

Provedení aktuální literární studie se zaměřením na technologii stříhání a ohýbání. Návrh vhodné technologie výroby součásti a vypracování postupu výroby. Provedení technologických a kontrolních výpočtů, volba stroje. Návrh nástroje pro výrobu zadané součásti. Technicko-ekonomické hodnocení navržené výroby. Závěr.

Seznam literatury:

TSCHA-TSCH, Heinz. Metal forming practise: processes - machines - tools. New York: Springer-Verlag, c2006. ISBN 35-403-3216-2.

Handbuch der Umformtechnik: processes - machines - tools. New York: Springer, c1996. ISBN 35-406-1099-5.

SUCHY, Ivana. Handbook of die design: processes - machines - tools. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, c2006. ISBN 00-714-6271-6.

LIDMILA, Zdeněk. Teorie a technologie tváření: processes - machines - tools. Brno: Univerzita obrany, 2008. ISBN 978-80-7231-579-6.

DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. Technologie tváření: plošné a objemové tváření. Vyd. 4., V Akademickém nakladatelství CERM 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007. ISBN 978-80-214-3425-7.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

V této diplomové práci je řešen návrh technologie výroby součásti – kotvicího prvku solárního panelu z oceli jakosti 1.0038 (11 375), tloušťky 5 mm. Pro výrobu zadané součásti je zvolena technologie postupového stříhání a ohýbání a navržen sdružený postupový nástroj včetně vhodného tvářecího stroje o jmenovité síle 8 000 kN. Navržený způsob výroby je podložen technicko-ekonomickým zhodnocením s ohledem na výrobní sérii 150 000 ks ročně.

Kotvicí prvek slouží k uchycení rámu pro solární vakuový trubcový kolektor. V rámci této diplomové práce bylo taktéž provedeno posouzení stávajícího způsobu výroby včetně volby vhodného polotovaru pro výrobu a navržena jejich optimalizace.

Klíčová slova

Sdružený postupový nástroj, stříhání, ohýbání, plošné tváření, ocel 1.0038 (11 375), Cimatron.

ABSTRACT

In this master's thesis the proposal of the production technology of component – solar collector anchor element from steel 1.0038 (11 375) quality, 5 mm thickness is solved. For the manufacturing of the assigned part the shearing and bending technology and a progressive forming tool including a suitable forming machine of 8,000 kN rated power is selected. The proposed method of production is laid down by a technical-economic evaluation with respect to the production series of 150,000 units per year.

The solar collector anchor element serves to hold the frame for the solar vacuum tube collector. In the scope of this master's thesis, an assessment of the current production method, including the selection of a suitable semi-finished product for production, was also carried out and their optimization was proposed.

Key words

Progressive forming tool, shearing, bending, sheet metal forming, 1.0038 (11 375) steel, Cimatron.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

SVOBODOVÁ, Helena. *Návrh výroby kotvicího prvku solárního kolektoru*. Brno 2017. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 91 s. Vedoucí práce Ing. Eva Peterková, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Návrh výroby kotvícího prvku solárního kolektoru** vypracovala samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

19. května 2017

Datum

Bc. Helena Svobodová

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto paní Ing. Peterkové, Ph.D. za metodické vedení a podporu při zpracování této diplomové práce.

Zároveň děkuji společnosti technology-support s.r.o. – jmenovitě panu Ing. Staňkovi, jednateři společnosti za pochopení, vstřícnost a možnost využít pro konstrukci postupového nástroje software Cimatron a panu Štětinovi za trpělivost při zaškolování na tento software.

Moje poděkování však patří i všem těm, kteří byli ochotni se se mnou podělit o své zkušenosti z praxe.

OBSAH

ABSTRAKT	3
PROHLÁŠENÍ.....	4
PODĚKOVÁNÍ	5
OBSAH.....	6
ÚVOD.....	8
1 ZHODNOCENÍ SOUČASNÉHO STAVU	9
1.1 Konstrukce dílce.....	10
1.2 Materiál dílce	11
1.2.1 Spektrální analýza	11
1.2.2 Chemické složení a mechanické vlastnosti oceli.....	12
1.2.3 Žárové zinkování	15
1.3 Varianty výroby zadané součásti	18
1.3.1 Zhodnocení jednotlivých variant.....	22
2 LITERÁRNÍ STUDIE	23
2.1 Technologie stříhání součástí.....	23
2.1.1 Princip stříhání.....	23
2.1.2 Napjatost a deformace	24
2.1.3 Střížná plocha	25
2.1.4 Výpočtové vztahy	26
2.2 Technologie ohýbání.....	32
2.2.1 Princip.....	32
2.2.2 Napjatosti, deformace, posun neutrální osy	33
2.2.3 Rozvinutá délka polotovaru.....	34
2.2.4 Odpružení při ohybu.....	35
2.2.5 Výpočet ohýbací síly a práce.....	37
2.3 Sdružený postupový nástroj	40
3 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY DÍLCE	43
3.1 Technologičnost konstrukce.....	44
3.2 Rozvinutý tvar dílce	46
3.3 Nástřihový plán	49
3.4 Výrobní postup v nástroji.....	53
4 TECHNOLOGICKÉ VÝPOČTY.....	55
4.1 Výpočty pro technologii stříhání.....	55
4.1.1 Střížná vůle (mezera).....	55

4.1.2	Střižná síla pro jednotlivé střižníky	55
4.1.3	Střižná práce	56
4.1.4	Kontrolní výpočty	56
4.2	Výpočty pro technologii ohýbání	58
4.2.1	Ohybová vůle	58
4.2.2	Ohýbací síla a práce	59
4.3	Výrobní tolerance funkčních částí nástroje	60
4.3.1	Výrobní tolerance střižníku a střižnice při děrování	61
5	NÁVRH TVÁŘECÍHO STROJE	64
5.1	Výpočet celkové síly	64
5.2	Návrh typu stroje	64
6	NÁVRH NÁSTROJE	66
6.1	Software	66
6.2	Popis a funkce nástroje	67
7	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	72
7.1	Přímé náklady	72
7.2	Nepřímé náklady	75
7.3	Celkové náklady; zisk	76
7.4	Bod zvratu	77
7.5	Shrnutí	78
	ZÁVĚR	79
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	80
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	85
	SEZNAM PŘÍLOH	91

ÚVOD

Přesto, že jsou v současnosti upřednostňovány materiály ekologičtější, lehčí, snadněji tvaritelné a mnohdy i levnější – jako jsou například plasty, v praxi mají nepochybně své stále místo dílce vyráběné z ocelových plechů. A to zejména z důvodu mechanických vlastností oceli, promítajících se do dlouhodobé užitné hodnoty výrobků, kterou všechny alternativní materiály zajistit nemohou. Ať už je však použit jakýkoli materiál, vždy platí: má-li být výsledný výrobek kvalitní, musí být už od počátku výroby polotovaru bezpodmínečně dodrženy veškeré dané technologické postupy.

Součásti z plechů různého tvaru, určené pro běžné použití, se zhotovují technologiemi plošného tváření, kdy je polotovar z plechu pomocí tvářecích nástrojů přetvořen do požadovaného prostorového tvaru bez znatelné změny jeho tloušťky. Technologické procesy tváření jsou obecně ovlivněny technologickými procesními parametry, které do procesu výroby požadovaného dílce vstupují. Je to například tření, typ maziva, teplota, rychlost pohybu nástroje, rychlost přetvoření a mimo jiné i vliv samotného tvářecího nástroje. Na jeho přesnosti a preciznosti stejně tak, jako na volbě materiálu a konstrukčním provedení nástroje pak závisí i tvar a přesnost samotného vyráběného dílce.

Na výrobky z plechu jsou kladeny různé nároky podle toho, jaké je jejich využití v praxi. V mnoha případech nahrazují i dílce obráběné či odlévané. Velkou výhodou je jejich nízká hmotnost a při správném konstrukčním návrhu i tuhost.

Vzhledem k tomu, že v současné době je otázka ochrany životního prostředí velmi aktuální a využívání tzv. obnovitelných zdrojů energie – v tomto případě energie slunečního záření – je velmi rozšířené, bude v rámci vypracování diplomové práce řešen návrh výroby háku sloužícího k ukotvení solárního kolektoru.

Tyto kolektory jsou umísťovány nejen na panely na polích či na střechy průmyslových hal, ale také na střechy obytných budov. Proto musí být jejich ukotvení důkladné a bezpečné, aby eliminovalo nežádoucí uvolnění kolektoru a v důsledku toho jeho následný pád, což by mohlo ohrozit bezpečnost osob pohybujících se v bezprostřední blízkosti těchto budov.



Obr. 1 Solární vakuový trubicový kolektor Westech¹.

1 ZHODNOCENÍ SOUČASNÉHO STAVU

Zadáním této diplomové práce je navrhnout výrobu kotvícího prvku (háku), který se používá pro uchycení solárního trubcového kolektoru (dále jen „kolektoru“) na taškovou střechu budovy. Jako vzor slouží již vyráběný a běžně dostupný dílec – svařenec ze dvou samostatně vyráběných částí.

S ohledem na skutečnost, že se jedná o dílec namáhaný jednak povětrnostními podmínkami a také hmotností uchyceného kolektoru (max. 110 kg)¹, musí být vyroben z materiálu schopného odolávat těmto podmínkám a zároveň konstruován tak, aby úchyt kolektor dostatečně zabezpečil proti pádu, případně jinému mechanickému poškození. Při volbě materiálu (zejména jeho tloušťky) a konstrukci dílce je zapotřebí v rámci extrémních povětrnostních podmínek, kterým je vystaven i vlastní kolektor, zohlednit i případné zatížení sněhem či větrem, krupobití a v neposlední řadě i tepelnou roztažnost materiálu při slunečním záření.

Kolektor je konstruován tak, aby odolával následujícím povětrnostním podmínkám¹:

- zatížení sněhem činí 2 400 Pa,
- zatížení větrem činí 130 km·h⁻¹,
- odolnosti proti kroupám do velikosti zrna 25 mm.

Úhel sklonu kolektoru je nutné volit v rozmezí: min. 20°, max. 90°.

Plochá část háku (destička) s předpřipravenými otvory se pomocí minimálně dvou delších vrtů opatřených mazivem uchytí do krokve. Oválný otvor na druhém konci háku slouží k připevnění bočních podélných rámců kolektoru, které jsou posuvné a tím umožňují snadné vyrovnaní kolektoru podle polohy jednotlivých krokví. Ohnutá část háku po montáži leží ve svislé nebo ploché rovině vlnové tašky, přičemž je nutné dodržet mezi taškou a můstkem vůli minimálně 5 mm. Tam, kde se předpokládá zatížení sněhem a u holandských tašek, umístí se pod hák plechová vlnovka, která odpovídá tvaru střešní tašky¹.

Vzhled háku a jeho poloha při montáži jsou zobrazeny na obrázcích 2 a 3.



Obr. 2 Vzorový (zakoupený) hák.



Obr. 3 Umístění střešního háku při montáži¹.

V současné době spousta domácností i firem využívá možnosti úspory energie využitím solárních systémů. S ohledem na tuto skutečnost je úkolem této diplomové práce návrh postupového sdruženého nástroje tak, aby bylo možné dílec sloužící k uchycení solárního kolektoru vyrobit v celku a rychleji, při zachování jeho plné funkčnosti, a zároveň provést ekonomický rozbor, ze kterého by bylo patrné při jakém počtu kusů by tento způsob výroby byl rentabilní.

1.1 Konstrukce dílce

Nejčastěji používaným typem háku je dílec, u něhož jsou dvě základní části, tj. plochá desička s předvrtanými otvory a ohyby tvarovaný užší pásek stejné tloušťky, k sobě přivařeny – viz obr. 4. Tento způsob výroby je jedním z nejjednodušších a také nejlevnějších.

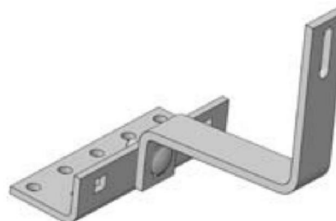
Jednou z dalších možností, jak tyto obě části jednoduchým a levným způsobem spojit je šroubové rozebíratelné spojení – viz obr. 5 až 7. Šroubové spojení využívající oválné otvory tak může být z hlediska montáže háku i kolektoru variabilnější.

Ohyby, umožňující uložení háku mezi taškami a také v jejich profilu, mohou být v různém provedení v závislosti na konstrukci rámu pro uchycení kolektorů od různých výrobců.

Na obrázcích 4 až 7 jsou uvedeny ukázky některých typů prodáváných střešních háků.



Obr. 4 Střešní hák³⁸.



Obr. 5 Střešní hák³⁹.



Obr. 6 Střešní hák⁴⁰.



Obr. 7 Střešní hák⁴¹.

1.2 Materiál dílce

Součástí řešení diplomové práce bylo navrhnout nejen rychlejší způsob výroby zadaného dílce, ale i vhodný materiál pro jeho výrobu. Prvním úkolem tedy bylo zjistit, z jakého materiálu se daný dílec běžně vyrábí a posoudit jeho vhodnost.

Za účelem zjištění daného materiálu byl zakoupený vzorový kus podroben spektrální analýze pomocí jiskrového spektrometru Belec Compact Port, za použití speciální argonové pistole. Analýza byla provedena v mechanické laboratoři společnosti KRÁLOVOPOLSKÁ, a. s. – firmě s více než 120letou tradicí ve strojírenské výrobě. Kromě chemické analýzy uhlíkatých a austenitických ocelí, prováděné na uvedeném spektrometru, je schopna laboratoř provést destruktivní zkoušky a chemické analýzy materiálů podle norem ČSN, DIN, EN, a ASME Code (s výjimkou vrubové houževnatosti) a nabízí i metalografické rozbory materiálů⁶³.

Podstata a princip spektrální analýzy jsou pro úplnost informací popsány v následující kapitole 1.2.1.

1.2.1 Spektrální analýza^{2,3,4}

Touto analýzou bylo zjištěno, že prodáváný dílec je zhotoven z korozivzdorné oceli jakosti 1.4301. Protokoly analýzy jsou přílohami 1 a 2 této diplomové práce.

Spektroskopii lze definovat jako vědní obor, zabývající se měřením emise a absorpce různých vlnových délek viditelného a neviditelného záření.

Důležitým zdrojem informací o složení dané látky je její vyzařování, měření intenzity tohoto vyzařování je pak prováděno spektrometrem. Spektrální analýza využívá poznatku, že obsah chemických prvků v dané látce přesně určuje poloha čar ve spektru, kdy na základě jejich intenzity je možné přesně stanovit množství určitého prvku v materiálu.

Využitím spektroskopických metod je možné získat informace o struktuře na atomové a molekulové úrovni. Tyto metody jsou velice specifické, s vysokou citlivostí (např. při určování hmotnosti – přesnost řádově 10^{-13} kg) a je možno je aplikovat od fyziky či astrofyziky přes analytickou chemii a průmysl až po lékařské anebo kriminalistické účely.

Podle původu se spektra rozdělují zejména na emisní (vznikající vyzařováním zahrátých látek) a absorpční (vznikající po průchodu světla prostředím, kde se jeho část pohltí).

Podle vzhledu, jak je ukázáno na následujících obrázcích 8, 9 a 10, se dělí na:

- čárová, kdy je spektrum složeno z několika barevných čar:



Obr. 8 a 9 Čárové spektrum (např. plyny, jednotlivé prvky)⁴.

- spojitá, kdy spektrum tvoří souvislý barevný pás, v němž jedna barva přechází spojitě v jinou:



Obr. 10 Spojité spektrum (např. slunce, vlákno žárovky)⁴.

- pásová, kdy je spektrum složeno z velkého množství čar ležících blízko u sebe.

1.2.2 Chemické složení a mechanické vlastnosti oceli^{5,6,7,8,9,10,53}

Jak již je uvedeno v úvodu kapitoly 1.2, na základě provedené spektrální analýzy bylo zjištěno, že pro výrobu vzorového kotvícího háku byla použita ocel jakosti 1.4301. Ocel této jakosti velmi dobře odolává vzniku koroze v běžném prostředí (působení vody, slabě alkalické prostředí, působení slabých kyselin, průmyslové prostředí a prostředí velkoměst). K tomu přispívá chrom, molybden, měď, křemík a nikl. Chrom vytváří na povrchu materiálu povlak oxidu chromu, čímž dochází ke vzniku ochranné, samoobnovující se vrstvy (pasivace oceli).

V dnešní době je možno prakticky a bez jakýchkoli omezení využít pro konstrukční účely širokou nabídku korozivzdorných ocelí, případně opatřených vhodnou povrchovou úpravou. Tyto materiály jsou využitelné pro svoji univerzálnost a schopnost odolávat agresivnímu prostředí jak v exteriérech, tak v interiérech a jejich použitím lze zvýšit užitnou hodnotu zhotovené součásti anebo díla, zejména jednoduchou udržitelností a dlouhodobou životností.

Ocel jakosti 1.4301 se řadí mezi tzv. potravinářské nerezové oceli. Svým složením, vyhovujícím normativním požadavkům na zařízení přicházející do styku s pitnou vodou a potravinami, je předurčena k využití hlavně v těchto odvětvích – tj. gastronomii, potravinářství, vodárenství a také v domácnostech (nádobí). Tedy všude tam, kde je zapotřebí dodržet zvýšené hygienické nároky.

Mezi strojírenské polotovary vyráběné z tohoto materiálu patří mimo jiné plechy a tyče tvářené za tepla nebo za studena a dráty. Lze říci, že se jedná se o materiál hlubokotažný, vzhledem k svým mechanickým vlastnostem vhodný i pro velmi namáhané díly.

V ostatních odvětvích, zejména architektuře, se jich pak používá například pro konstrukce z profilů, které bývají osazeny sklem. Korozivzdorné trubky z materiálu jakosti 1.4301 svařené do křížů a propojené do křížových styčníků, které jsou zachyceny na fotografii (obr. 11), byly kupříkladu použity při rekonstrukci oranžerie pocházející z poloviny 17. století, situované na jižní straně královských zahrad v Praze. Jedná se o příklad konstrukce vystavené extrémním vlivům okolního prostředí.



Obr. 11 Spojení komponent venkovní konstrukce⁷.

- Faktory ovlivňující materiál

Mezi základní materiálové faktory, které v souhrnu ovlivňují tvařitelnost plechu patří chemické složení, mikrostruktura a textura materiálu. Charakter mikrostruktury hlubokotažné oceli má podstatný vliv na jeho mechanické vlastnosti a tím i na tvařitelnost.

Poznámka:

Textura – směrové uspořádání krystalů, ale i nečistot v podélném směru struktury plechu jako důsledek válcování. Rekrytalizace odstraní texturu, ale nepřemístí nečistoty.

Z hlediska tvářecích procesů má zásadní význam plastická deformace. Fyzikální vlastnost, která umožňuje plastickou deformaci kovů, se nazývá plasticita. Plastická deformace krystalických materiálů se uskutečňuje pohybem dislokací, a to buď skluzem nebo dvojčatěním.

Skluz se uskutečňuje posuvem dislokací ve skluzových rovinách krystalu, což jsou zpravidla krystalografické roviny s nejhustším uspořádáním atomů.

Při dvojčatění dochází k náhlému přeskupení celé krystalové mřížky v některé části krystalu tak, že původní a přeskupená mřížka jsou zrcadlově symetrické vzhledem k tzv. rovině dvojčatění. Dvojčatění umožňuje jen malé deformace, které jsou doprovázeny relativně velkým zpevněním, a to u kovů a slitin s šesterečnou mřížkou (např. Mg, Zn, Ti).

Existence skluzu i dvojčatění je tedy podmínkou pro to, aby vůbec mohl probíhat proces tváření.

U polykrystalických materiálů se vyskytuje i jiný mechanismus plastické deformace, spočívající ve vzájemném pohybu a natáčení zrn (s pokluzy po hranicích zrn). Uvedený způsob umožňuje dosáhnout vysoký stupeň deformace za určitých specifických podmínek. Tím se rozumí například vysoká teplota materiálu, nízká rychlost deformace apod.

- Korozní odolnost

Ocel jakosti 1.4301 je náchylná k mezikrystalové korozi v oblasti, kde došlo k tepelnému ovlivnění (např. v místech svarů – CrC, kde vzniká již při teplotě 450 °C). Odolnost proti korozi by bylo možné zvýšit leštěním povrchu.

Pokud by svar, kterým jsou spojeny jednotlivé části zakoupeného dílu, byl vystaven silným vlivům vyvolávajícím korozi, bylo vhodnější použít ocel jakosti 1.4401 (ocel 17 246, chromniklová austenitická stabilizovaná ocel X5CrNiMo 17-12-2), která je proti mezikrystalové korozi stabilizována titanem nebo niobem, proti bodové a štěrbinové korozi molybdenem, křemíkem a dusíkem. Korozní praskání je omezeno obsahem fosforu, arzenu, antimonu nebo cínu. Ocel 1.4401 je však oproti oceli 1.4301 o něco dražší a méně rozšířená.

Alternativou oceli 1.4301 je z důvodu snížení nákladů na vstupní polotovary a jeho lepší tvařitelnosti neúspěšně konstruovaná ocel obvyklé jakosti 1.0038 (S235JR). Tato ocel se používá na součásti menších tlouštěk, namáhané staticky i dynamicky, mezi které patří součásti vyráběné z plechu jako jsou např. vrata plavidlových komor, klapky uzávěrů, spojky a podvozky vagónů. Z důvodu ochrany proti povětrnostním podmínkám je však nutné tento materiál opatřit vrstvou žárového zinku. I přes náklady vynaložené na tuto povrchovou úpravu se jeví použití tohoto materiálu jako vhodnější.

Značení, jakost a ekvivalenty ocelí 1.4301 a 1.0038 jsou uvedeny v následující tabulce 1:

Tab. 1 Značení, jakost a ekvivalenty ocelí 1.4301 a 1.0038^{42,43,47}.

ČSN EN 10088-1; DIN 17455, 17456, 17440	AISI/ASTM/ASME (USA)	JIS (Japonsko)	ČSN	POLDI	Ocel obdobné jakosti
X5CrNi18-10 (1.4301)	304	SUS 304	17 240	AKV7	17 241
Jakost materiálu	ČSN EN 10025; 42 0904	ČSN EN 10027-2	ČSN	DIN	JIS (Japonsko)
1.0038	S235JR	S235JRG2	11 375	RSt37-2	SS330

Přehled mechanických vlastností daných materiálů je uveden v tabulce 2.

Tab. 2 Mechanické vlastnosti ocelí 1.4301 a 1.0038^{42,47}.

Polotovár	Tloušťka [mm]	Mez kluzu [MPa]	Mez pevnosti v tahu, R _m [MPa]	Tažnost A ₅ [%]	Modul pružnosti v tahu [MPa]
Ocel jakosti 1.4301, za studena válcovaný pás	5	R _{p0,2} : min. 230	540 až 750	45	200 000
Ocel jakosti 1.0038	5	R _e : min. 235	360 až 510	26	210 000

V tabulce 3 je uvedeno chemické složení materiálu zakoupeného háku (výňatek z analýzy provedené v mechanické laboratoři společnosti KRÁLOVOPOLSKÁ a. s.).

Tab. 3 Chemické složení materiálu háku – ocel jakosti 1.4301.

Prvek	Chemické složení tavby v % hmotnosti podle ČSN EN 10088 (dovolené tolerance)	Hodnota zjištěná analýzou [% hmotnosti]	
		plocháč (30×5) mm	plocháč (60×5) mm
C	0,000 až 0,07	0,057	0,048
Si	0,000 až 1,00	0,461	0,394
Mn	0,000 až 2,00	0,969	1,606
P	0,000 až 0,045	0,013	0,019
S	0,000 až 0,015	0,003	0,003
Cr	17,000 až 19,50	19,30	18,83
Ni	8,00 až 10,50	8,90	8,81

Chemické složení oceli jakosti 1.0038 je uvedeno v následující tabulce 4.

Tab. 4 Chemické složení materiálu 1.0038⁴².

Prvek	C	Mn	P	S	N	Cu
Obsah prvku max. [% hmotnosti]	0,19	1,50	0,045	0,045	0,014	0,60

Porovnáním cen vstupního materiálu⁴³, cen za žárové zinkování⁴⁴ a materiálových charakteristik bylo zjištěno:

- zpracování materiálu 1.4301, tloušťky 5 mm, v lisovacím nástroji by bylo možné bez problémů provést pouze po předchozím tepelném ohřevu,
- cena materiálu 1.0038 včetně následné povrchové úpravy žárovým zinkováním je přibližně o polovinu nižší (v závislosti na počtu povlakovaných kusů) než cena materiálu 1.4301.

Přes všechny výhody, které korozivzdornou ocel 1.4301 předurčují pro použití v exteriérech, byl na základě uvedených faktů zvolen pro výrobu háku materiál 1.0038 tloušťky 5 mm, který bude opatřen ochrannou vrstvou z žárového zinku. Popis způsobu ochrany touto metodou je uveden v následující kapitole 1.2.3.

1.2.3 Žárové zinkování^{11,61}

Žárové zinkování je způsob ochrany oceli povlakem nanášeným z organického nebo anorganického materiálu za účelem vytvoření vrstvy zabraňující přístupu kyslíku a vlhkosti k jejímu povrchu. Jako anorganický materiál jsou využívány slitiny, kovy či smalty, organický povlak vytvářejí nátěrové hmoty, plasty a bitumenové přípravky, případně kombinace anorganických a organických materiálů. Pro vznik koroze kovu je v běžném prostředí dostačující, aby relativní vlhkost přesáhla hodnotu 60 %. Ve střední Evropě jsou tyto podmínky splněny prakticky celoročně, takže je zapotřebí uvažovat u kovových materiálů používaných v exteriérech s větší náchylností k vzniku korozních dějů.

Kovový povlak na oceli je technicky možné vytvořit z většiny kovů a slitin. Ne všechny jsou však k tomuto účelu vhodné z důvodu jejich obtížného vyloučení na povrchu oceli, své vlastní nekorozivzdornosti, případně z důvodu vyšší ušlechtilosti než je ocel, na kterou mají být nanášeny. Dalším nezanedbatelným kritériem je ochrana životního prostředí. Z uvedených důvodů jsou proto pro účely povlakování vhodnými kovy pouze zinek a hliník, který se však obtížně nanáší z důvodu oxidace s kyslíkem. Podstatou této metody ochrany je, že méně ušlechtilý kov chrání ušlechtilejší vlivem katodické ochrany – na povrchu oceli dochází ke korozi zinkového povlaku a tím poskytnutí katodické ochrany poškozeným místům v povlaku. Na rozhraní oceli a zinkového povlaku nedochází k vzniku koroze na rozdíl od nátěrů, kdy právě v těchto místech dochází k aktivaci korozních dějů.

Skutečnost, že zinek může chránit ocel proti korozi, objevil už v roce 1741 francouzský chemik Malouin. Tato metoda však našla své praktické uplatnění až v okamžiku, kdy Francouz Sorel zavedl chlorid amonný jako tavídko. Svou první patentovou přihlášku na žárové zinkování podal dne 10. 5. 1837. Tento patent je v praxi využíván dodnes a tuto metodu v dodatku ke své patentové přihlášce nazývá galvanizací, protože galvanický článek se tvoří, je-li zinkový povlak poškozen. Ocel se pak na poškozeném místě stává jeho katodou a zinek anodou, která chrání ocel proti korozi.

Vlastní proces žárového zinkování probíhá tak, že se součást z oceli, odmaštěná, očištěná od rzi, okují a případně jiných nečistot ponoří do roztaveného zinku. Na povrchu součásti se vytváří vícevrstvý povlak složený ze slitinových Fe-Zn fází a vnější vrstvou čistého zinku. Tato metoda je používána pro dlouhodobou ochranu proti vzniku koroze. Tato metoda je vhodná i pro složitější tvary součástí.

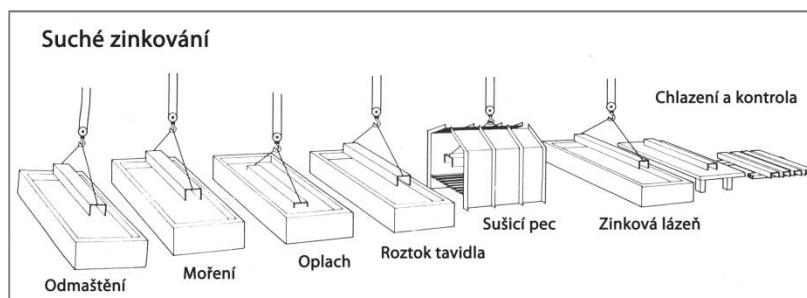
Na obrázku 12 je názorně ukázán rozdíl mezi kovem vystaveným povětrnostním vlivům – vlevo opatřeným nátěrem a vpravo žárově zinkovaným.



Obr. 12 Korozní odolnost materiálu opatřeného nátěrem (vlevo) a vrstvou žárového zinku (vpravo)¹¹.

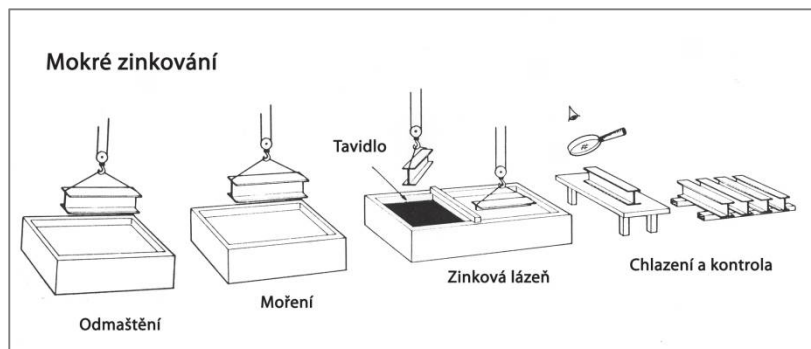
Vlastní nanesení vrstvy zinku probíhá po předchozích úpravách (odmaštění, moření) nanesení vrstvy tavídkla, které zabráňuje tvorbě oxidů a zároveň přispívá k jejich rozpuštění tak, aby mohlo dojít k přímému kontaktu obou kovů. Toto se provádí dvěma rovnocennými způsoby, přičemž suchý způsob je běžnější z důvodu snazší mechanizace.

- Suchým způsobem, který je popsán na obrázku 13.



Obr. 13 Suché zinkování¹¹.

- Mokrým způsobem, jak je znázorněno na obrázku 14.



Obr. 14 Mokrý zinkování¹¹.

Výsledná tloušťka povlaku závisí na tloušťce povlakovaného materiálu a jeho chemickém složení, zejména na obsahu křemíku. Minimální tloušťka a plošná hmotnost povlaku je stanovena normou⁶².

Výhody:

- dlouhodobá životnost, bez potřeby obnovy či údržby,
- rovnoměrný povlak na vnitřních a obtížně přístupných plochách, příp. i silnější na ostrých hranách a výstupcích,
- povlakování se provádí v pevných zařízeních definovanou technologií, což eliminuje vznik vad v povlaku,
- odolnost pro mechanickému poškození vrstvy, drobná povrchová poškození není zapotřebí opravovat,
- možnost svařování všemi běžnými způsoby.

Nevýhody:

- nutnost pořízení povlakovacího zařízení,
- nelze měnit barvu povlaku, pouze nátěrem,
- u tenkých plechů nebo profilů hrozí riziko jejich deformace vlivem teploty v zinkovací lázni,
- rozměry dílu nebo konstrukce jsou omezeny velikostí zinkovací lázně,
- při svařování je nezbytně nutná ochrana dýchacích orgánů.

1.3 Varianty výroby zadané součásti

Obecně lze použít tři možnosti výroby:

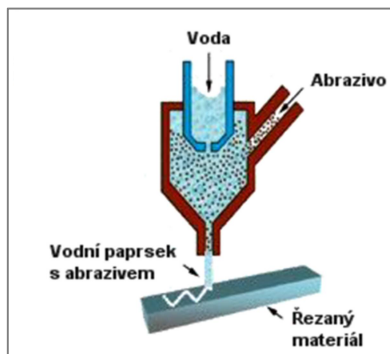
- výrobu dvou samostatných částí dílce (ploché ocelové destičky s otvory pro přišroubování do krokve a několika ohyby tvarovaného užšího pásku oceli) s následným svařením,
- výrobu dvou samostatných částí dílce, které jsou poté sešroubovány,
- výrobu celého dílce z jednoho kusu polotovaru,

přičemž základní tvar z plechu pro varianty a) a b) lze vyrábět několika možnými metodami:

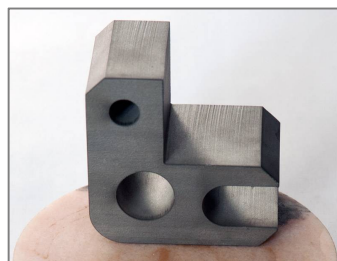
➤ Řezáním vodním paprskem^{12,17}

Princip této metody spočívá v použití zařízení, které umožní stlačit vodu na tlak přibližně 4 150 bar, poté ve směšovací komoře do vodního proudu přimísit abrazivní materiál a tuto směs protlačit tryskou světlosti 1 mm. Pohyb trysky je počítačově řízen, což umožňuje dosáhnout vysokou přesnost pohybu ($\pm 0,05$ mm) a opakovatelnost provedených řezů ($\pm 0,025$ mm). Řez je proveden s přesností až 0,1 mm. Tímto způsobem lze provádět řezy materiálů s vysokou pevností, materiálů velmi měkkých, křehkých i vrstvených.

Princip metody a příklad dílu vyrobeného touto metodou jsou na obrázcích 15 a 16.



Obr. 15 Princip metody¹⁷.



Obr. 16 Díl z kovu¹².

Výhody:

- k dotyku dochází pouze mezi vodním paprskem a materiálem,
- nedochází k tepelnému ani chemickému ovlivnění materiálu,
- řez je možno provést i v těsné blízkosti hrany materiálu – úspora materiálu,
- bezprašná metoda, při které nedochází ani k tvorbě škodlivých plynů či par,
- bez nutnosti dalšího opracování řezné hrany.

Nevýhody:

- dochází ke kontaktu materiálu s vodou – je nutné ošetření kovových materiálů vhodnými antikorozními prostředky, nasáklé materiály se dále vysoušejí,
- u některých materiálů může dojít ke změně barvy anebo znečištění, příp. vzniku koroze,
- hluchost provozu.

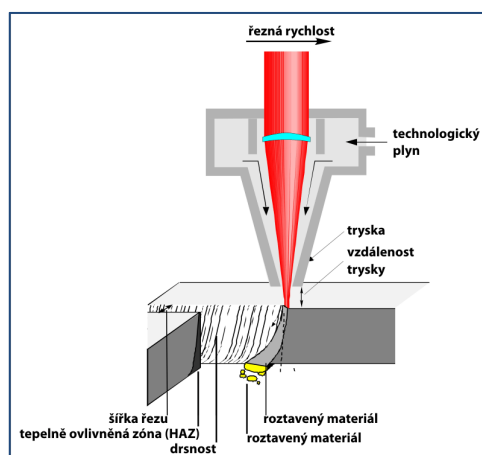
➤ Řezáním laserem¹³

Jedná se o nejrozšířenější laserovou technologii. V současné době se používají dva základní typy řezání pomocí laseru, a to „3D laserové řezání“, kdy je laserový paprsek přiveden do místa řezu optickým vláknem a „Remote cutting“ („vzdálené“ řezání), které se však používá převážně u nekovových materiálů (textilie, plasty, papír) a skenovací hlava je v tomto případě umístěna ve vzdálenosti 1 m až 2 m nad obráběnou součástí. Nejnovějším trendem je využívání vláknových laserů.

Při řezání laserem se uplatňují, ve vzájemných kombinacích, tři různé procesy řezání:

- sublimační – materiál je z místa řezu odpařován laserovým zářením o vysoké intenzitě,
- tavné – probíhající při nižším výkonu než sublimační. Materiál je pouze taven a odfukován z řezné plochy inertním plynem.
- plamenem – z důvodu vysoké řezné rychlosti se používá zejména u ocelí konstrukčních a běžných. Asistenčním plynem je v tomto případě kyslík a materiál je zahříván na teplotu vyšší než je teplota zápalná, čímž dochází k exotermické reakci, která dodá procesu řezání energii.

Princip metody řezání laserem je uveden na obrázku 17.



Obr. 17 Princip řezání laserem¹³.

Výhody:

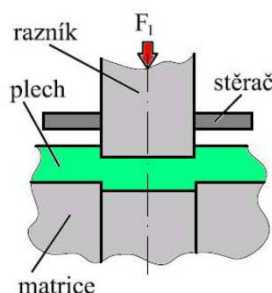
- sublimační řezání – řez je velmi kvalitní a bez otřepů, při použití asistenčních plynů (dusíku, argonu) nedochází k oxidaci materiálu,
- řezání plamenem – vysoká řezná rychlost s horší kvalitou řezu, avšak dostačující pro většinu běžně vyráběných dílů,
- vláknové lasery – vyšší řezná rychlost u tenkých materiálů, při současném polovičním výkonu laseru.
- u systémů umožňujících plynule měnit výkon laseru, příp. další parametry snížení negativních dopadů na řezaný materiál
- šířka řezné spáry do 0,5 mm, což u tenkých materiálů umožňuje řez i drobných detailů.

Nevýhody:

- vysoká pořizovací cena,
- tepelné ovlivnění materiálu v okolí řezu, u silnějších materiálů stopy po natavení,
- vysoké nároky na zajištění bezpečnosti práce s laserovým zařízením.

➤ Vysekáváním

Vysekávání se řadí stejně jako stříhání mezi beztržkové metody dělení materiálů. Tato metoda se uplatňuje zejména při zhotovování jednodušších tvarů, avšak je možné tímto způsobem zhotovit polotovary větších rozměrů i složitějšího obrysu. Princip je obdobný jako u stříhání, tvary jsou do plechů o tloušťce max. 6 mm proráženy pomocí razníků, případně je materiál oddělován ručně pomocí výsečníku. Princip této metody je znázorněn na obrázku 18.



Obr. 18 Princip vysekávání¹⁴.

Výhody:

- rychlost výroby,
- nedochází k tepelnému ovlivnění materiálu,
- tímto způsobem lze zpracovávat většinu dostupných materiálů.

Nevýhody:

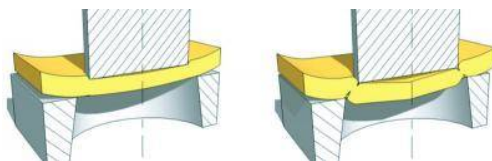
- nároky na prostor při umístění lisu
- horší kvalita střížné plochy.

➤ Postupovým stříháním^{15,16,17}

Stříhání je nejrozšířenější operací při dělení materiálů určených k dalšímu zpracování a také pro dokončovací práce. K oddělení dochází po překročení meze kluzu a vzniku smykového napětí vytvořeného protilehlými břity nástroje (průběh stříhu viz obrázek 19). Tato technologie je využívána zejména u produkcí velkého objemu.

Dělení materiálu může být provedeno:

- za studena – pouze měkké oceli do pevnosti cca 400 MPa anebo plechy,
- za tepla – oceli s vyšší mezí pevnosti než 400 MPa je nutno před dělením předeheat na teplotu přibližně 700 °C.



Obr. 19 Průběh stříhání¹⁵.

Výhody:

- vyšší produktivita práce,
- nízké náklady na provoz.

Nevýhody:

- vznik otřepů,
- dosažitelná přesnost IT 12 až IT 14,
- nerovný povrch střížné plochy.

U varianty c), která spočívá ve zhotovení dílce z jednoho kusu polotovaru se nabízí technologie:

➤ 3D tisku^{18,19}

Tisk, při kterém se prostřednictvím speciálního zařízení (3D tiskárny) a pomocí zdrojového datového souboru vytvářejí třírozměrné objekty ze zvoleného materiálu. Model, vytvořený v počítači, je nejdříve rozložen do tenkých vrstev a prostřednictvím 3D tiskárny sestaven do reálné součásti. Sestavení probíhá na základní desce, kde jsou postupně nanášeny jednotlivé vrstvy, přičemž po dokončení každé z nich deska poklesne právě o tuto tloušťku. Princip spojování jednotlivých vrstev se liší podle zvoleného materiálu výrobku a technologie výroby. Například pro výrobu kovových dílů se používá technologie Direct Metal Laser Sintering, kdy je energií laseru taven kovový materiál ve formě jemného prášku.

Výhody:

- možnost vyrábět tvarově složité díly, které by jinými metodami nebylo možné vyrobit,
- zanedbatelný odpad,
- rychlost výroby.

Nevýhody:

- nedostatečná pevnost,
- nevhodnost pro velké série,
- vysoké pořizovací náklady.

➤ Odlévání

Způsob výroby součásti, při kterém je roztavený kov nebo jiný materiál vléván do formy, jejíž dutina má velikost a tvar požadované součásti.

Výhody:

- možnost vyrábět díly, které by jiným způsobem nebylo možné vyrobit,
- vyšší produktivita práce.

Nevýhody:

- hmotnost,
- nutnost vytvoření modelu,
- náklady na formy,
- zmetkovitost.

➤ Výroba ve sdruženém postupovém nástroji¹⁵

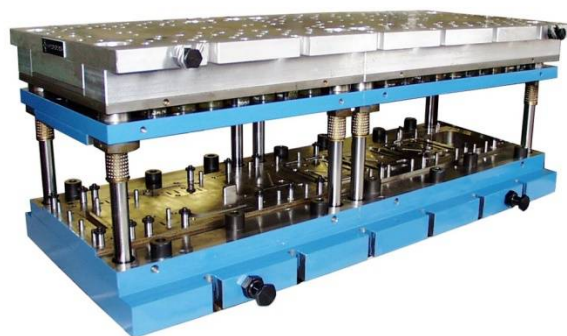
Pomocí postupového nástroje je výrobek zhotovován postupně, v několika operacích a krocích. Jedná se o nejčastěji konstruované a používané nástroje, protože většinu takto vyráběných dílců nelze vyrobit pouze na jeden zdvih. Sdružený postupový nástroj (viz obrázek 20) navíc umožňuje sdružit více různých pracovních úkonů jako je např. stříh a ohyb do jednoho kroku, respektive více kroků.

Výhody:

- možnost výroby složitých dílců v jednom nástroji,
- vyšší produktivita práce
- přesnost vyráběných dílců.

Nevýhody:

- složitější a tím nákladnější konstrukce nástroje,
- vyšší nároky na zajištění bezpečnosti při práci s lisou.



Obr. 20 Příklad sdruženého postupového nástroje²⁰.

1.3.1 Zhodnocení jednotlivých variant

U variant a) a b) je nutné nejdříve vyrobit základní rozvinuté polotovary z plechu, posléze provést ohyb a dodatečnou operací docílit vzájemného spojení těchto dvou částí (svařováním, šroubovým spojem). Obě tyto metody jsou jednoduché, nicméně je zapotřebí mít k dispozici nejen další stroje a zařízení včetně kvalifikované obsluhy pro výrobu základního polotovaru, ale také pracovníka se specializací, který provede dokončovací práce. Tím se celý proces výroby prodlouží a také prodraží.

U varianty c) přichází v úvahu pouze výroba ve sdruženém postupovém nástroji, protože technologie 3D tisku je velice finančně náročná a nevhodná pro sériovou výrobu a odlévání je nevyhovující zejména z důvodu velké hmotnosti odlitků a jejich časté zmetkovitosti.

Po zhodnocení jednotlivých variant pro výrobu zadané součásti a i přes uvedené nevýhody byla zvolena jako optimální metoda výroby ve sdruženém postupovém nástroji, která přináší úsporu celkových nákladů, a to zejména prostřednictvím úspory času potřebného na výrobu, snížením počtu obsluhujícího personálu a množství potřebných výrobních strojů a zařízení.

2 LITERÁRNÍ STUDIE

Pro výrobu zadané součásti byla jako nejvhodnější zvolena metoda kombinace stříhání a ohýbání, prováděná pomocí sdruženého postupového nástroje. Z tohoto důvodu bude tato kapitola zaměřena na tyto vybrané technologie tváření.

Technologie tváření kovů¹⁵

je technologický proces, při kterém dochází k požadované změně tvaru výrobku nebo polotovaru v důsledku působení vnějších sil bez odběru třísek.

Plošné tváření²¹

Představuje způsob přetváření polotovaru (převážně za studena), při kterém proces plastické deformace neprobíhá v celém objemu tvářené součásti, ale pouze v jeho určité části.

Mezi přednosti plošného tváření patří možnost:

- vyrobít s malým počtem pracovních zdvihů i velmi složité součásti,
- zhotovit součásti téměř nevyrobitelné jinými technologiemi,
- vyrábět velmi přesné součásti (technologie bezodpadové nebo s minimálním odpadem),
- zhotovovat tuhé a lehké konstrukce,
- zavádět hromadnou výrobu součástí při velmi příznivých ekonomických ukazatelích.

2.1 Technologie stříhání součástí^{15,21}

Jako jediná z výrobních technologií má za cíl porušit soudržnost materiálu.

Podle teploty, za které stříhání materiálu probíhá, lze proces rozdělit na:

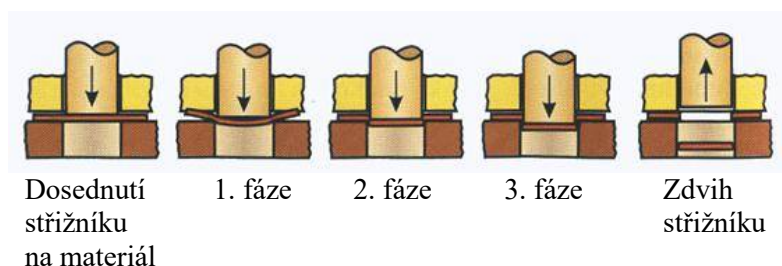
- stříhání za studena (pro oceli měkčí, s mezí pevnosti v tahu do 400 MPa anebo pro plechy),
- stříhání za tepla (pro silnější a tvrdší materiály, ohřev na teplotu cca 700 °C).

Podle konstrukce střižníku a střižnice se technologie stříhání dělí na:

- stříhání rovnoběžnými noži,
- stříhání skloněnými noži.

2.1.1 Princip stříhání¹⁵

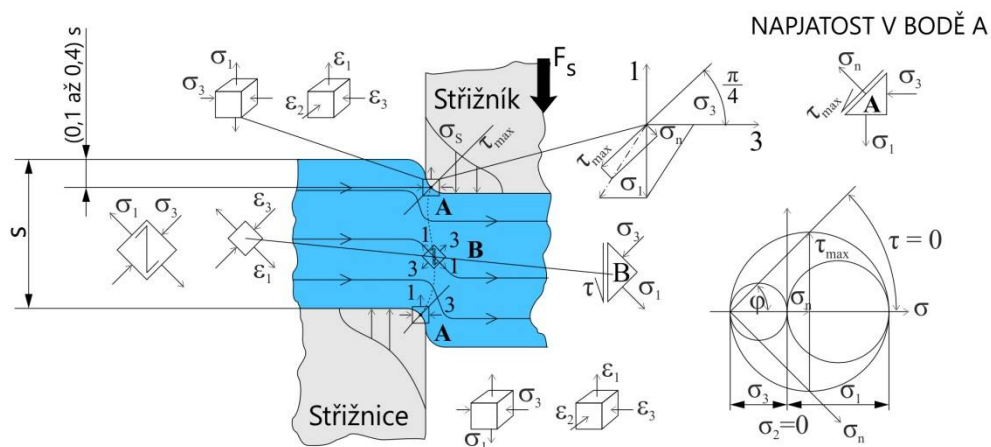
Při stříhání je materiál oddělován působením protilehlých řezných hran způsobujících v řezné rovině smykové napětí. Stříh je realizován pomocí nástroje skládajícího se ze střižníku a střižnice. Princip je znázorněn na obrázku 21 a popsán v textu pod ním.

Obr. 21 Princip stříhání pomocí stříhadla¹⁵.

1. fáze – dochází ke vzniku pružných deformací (v pásmu 5 % až 8 % tloušťky materiálu)
Materiál je stlačován a vlivem silových dvojic vznikajících v rovinách kolmých ke střížným plochám ohýbán a vtlačován do otvoru střížnice.
2. fáze – vznikají plastické deformace, definované velikostí střížné vůle (mezery) (10 % až 25 % tloušťky materiálu)
Střížník se vtlačuje do plechu a ten do otvoru střížnice, napětí překračuje mez kluzu a na hranách střížníku a střížnice se blíží mezi pevnosti. Materiál je oddělován působením střížné síly, působící v ploše vymezené obvodem střížnice a střížníku, o velikosti dosahující maxima v okamžiku počátku procesu oddělení materiálu, což je přibližně v $\frac{1}{3}$ tloušťky stříhaného plechu.
3. fáze – vznik deformací způsobených stříhem, tj. místo, ve kterém dochází k odtržení materiálu (10 % až 60 % tloušťky materiálu)
Na hranách začínají vznikat trhlinky, které se rozšiřují až dojde k oddělení (usmýknutí) materiálu. Rychlost oddělení závisí na mechanických vlastnostech materiálu (křehký a tvrdý – téměř okamžitě; měkký a houževnatý – pomalejší).

2.1.2 Napjatost a deformace²³

Schéma napjatosti a deformace při běžném uzavřeném stříhání je znázorněno na obrázku 22.

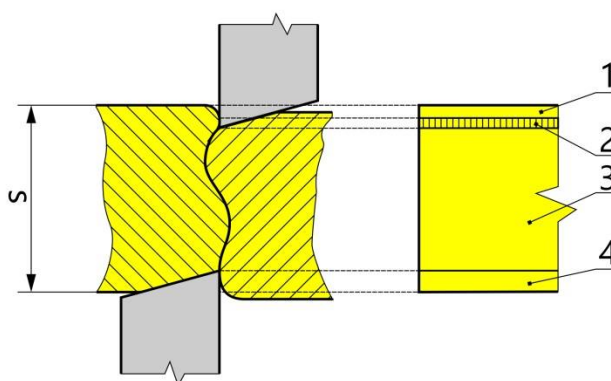
Obr. 22 Schéma napjatosti a deformace při běžném uzavřeném stříhání²³.

Ke vzniku největšího hlavního tahového napětí σ_1 dochází v těsné blízkosti střižné hrany (bod A) a velikost hlavního tlakového napětí σ_3 , určená praktickými zkouškami, je rovna přibližně jeho polovině. Protože při volném stříhání silnějších plechů je $\sigma_2 = 0$, je možné uvažovat přibližně rovinný stav napjatosti. U uzavřeného stříhání není hodnota středního napětí nulová, takže v bodě A je stav deformace prostorový.

V bodě B, tedy ve středu střižné plochy se mění poměr hlavních napětí σ_1 a σ_3 ($\sigma_1 = -\sigma_3$) a jsou splněny podmínky pro vznik prostého smyku, kdy $\sigma_2 = 0$.

2.1.3 Střižná plocha^{15,16,22,23,29}

Proces probíhá ve třech fázích, přičemž střižná plocha se v průběhu procesu mění do charakteristického tvaru písmene „S“, jak je patrné z obrázku 23:



Obr. 23 Deformační pásma při stříhání¹⁵.

Plocha stříhu je tvořena čtyřmi pásmy:

1. pásmo – elastická deformace.
Představuje zaoblení vstupní hrany po vniknutí břitu vrchního nože do materiálu.
2. pásmo – plastická deformace.
Nastává silicím tlakem nože a končí vznikem trhliny v materiálu.
3. pásmo – pásmo lomu.
Vzniká vlivem šíření trhlin od břitů nožů. Pokud je vůle mezi břity příliš velká či příliš malá, trhliny se v konečné fázi nepotkají a střižná plocha se pak vyznačuje tzv. zátrhem.
4. pásmo – Představuje zaoblení vstupní hrany po vniknutí břitu spodního nože do materiálu.

Na kvalitu střižné plochy mají rozhodující vliv:

- velikost střižné vůle (mezery),
- konstrukce střižných hran,
- opotřebení nástroje,
- stříhaný materiál (jeho mechanické vlastnosti).

Obecně se kvalita střížné plochy a rozměrová přesnost výstřižku u přesného stříhání získá pokud je dosaženo požadované změny stavu napětí a deformace v plastické oblasti. Druhou možností je tváření ve dvou krocích, kdy je po stříhání výstřižek třískově obroben.

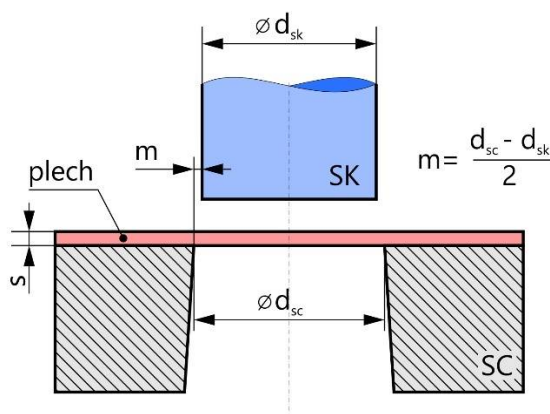
Na kvalitu střížné plochy, a přesnost provedeného stříhu vůbec, má vliv i rychlost stříhání. Pro oceli je kritická nárazová rychlost podle Kármána²⁹ $v_K = (50 \text{ až } 150) \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Při této rychlosti dochází ke změně materiálu z houževnatého na křehký.

Běžně dosažitelná přesnost stříhání je u středně velkých součástí IT 14 až IT 12.

2.1.4 Výpočtové vztahy^{15,16,22}

➤ Střížná vůle (mezera)

Je znázorněna na obrázku 24 a je rozdílem mezi skutečným rozměrem střížnice a střížníku. Volí se podle tloušťky a druhu stříhaného materiálu a její hodnota se zjišťuje ve směru kolmice k obrysu tvaru, který je stříhán. Při správném ustavení střížníku a střížnice jsou střížné mezery polovinami střížné vůle.



(SK – střížník; SC – střížnice; m – střížná mezera)

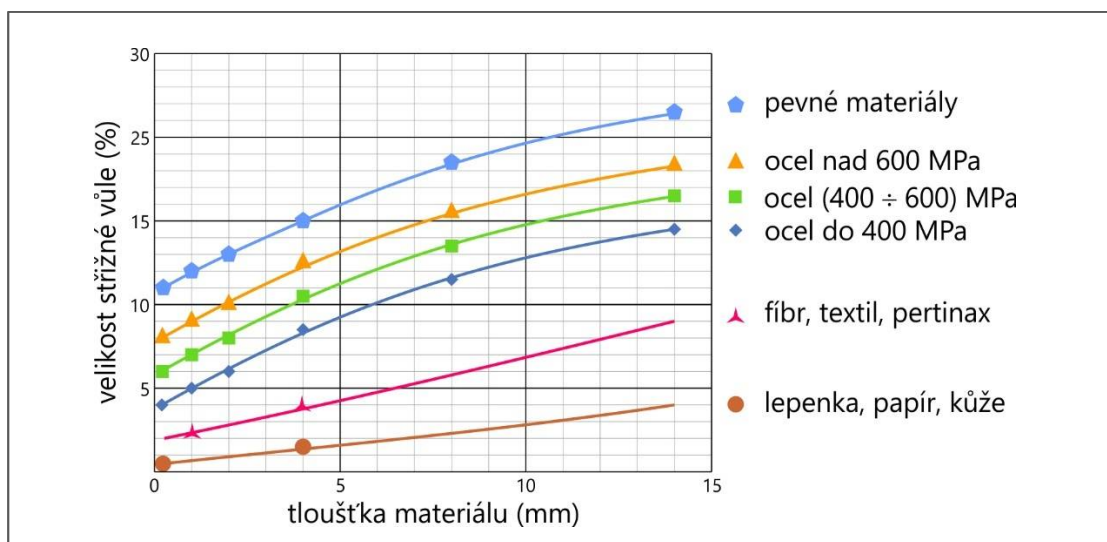
Obr. 24 Schéma stříhání pomocí střížného nástroje¹⁵.

Optimální rozměr střížné vůle je takový, při němž lze dosáhnout požadovanou kvalitu střížné plochy při co nejmenší velikosti střížné síly (obvykle 3 % až 20 % tloušťky materiálu; při jednostranném stříhání cca 1 % až 3 % tloušťky materiálu). Střížná vůle musí být po celé ploše stříhu konstantní. Příliš velká střížná vůle způsobí ohyb materiálu při stříhu a odchylku rozměru hotového výstřižku (zápornou) a otvoru (kladnou) až o 0,02 mm. S rostoucí pevností materiálu se střížná vůle zvětšuje, což je názorně ukázáno na obrázku 25.

Střížnou vůli lze rozdělit podle použití na:

- univerzální (pro materiál určitého rozmezí tlouštěk);
- lineární (hodnota v procentech stanovená podle druhu použitého materiálu; zvětšuje se přímo úměrně se zvětšující se tloušťkou plechu);
- progresivní (pro značně namáhaná stříhadla pracující v obtížných podmínkách);

- střížnou vůli pro nekovové materiály.



Obr. 25 Velikost střížné vůle v závislosti na tloušťce stříhaného materiálu¹⁶.

Velikost střížné vůle pro plech tloušťky nad 3 mm lze stanovit i ze vzorce:

$$m = \frac{v}{2} = (1,5c \cdot s - 0,015) \cdot 0,32\sqrt{\tau_s} \quad (2.1)$$

kde:

m střížná mezera [mm]

v střížná vůle [mm]

s tloušťka stříhaného materiálu [mm]

τ_s napětí ve smyku [MPa]; ($\tau_s = 0,8 \cdot R_m$)

c (0,005 až 0,025)

koeficient závislý na stupni stříhu, přičemž pro dosažení kvalitního povrchu stříhu se volí nižší hodnoty

➤ Střížná síla

Velikost střížné síly je jedním ze základních údajů pro návrh střížného nástroje a volbu lisovacího stroje. V reálných podmínkách, v důsledku existence střížné mezery, však střížné síly nepůsobí v jedné rovině. Střížná síla se rozkládá na složku třecí a normálovou, což vede zejména k vzniku ohybových momentů.

Použitím přidržovače je možné zabránit natočení materiálu, které je způsobeno ohybovým momentem. Naklopení lze eliminovat zvětšením úhlu čela nože.

Síla přidržovače se určí ze vztahu:

$$F_p = \frac{F_S \cdot a_m}{c_v} \quad (2.2)$$

kde:

F_p síla přidržovače [N]

F_S střížná síla [N]

a_m 1,5 až 2násobek střížné mezery

c_v vzdálenost břitů nože od působistiště síly přidržovače [mm]

Velikost střížné síly při stříhu s rovnoběžnými noži se vypočítá následovně:

$$F_S = n \cdot O \cdot s \cdot \tau_s \quad (2.3)$$

kde:

F_S střížná síla [N]

n koeficient zohledňující vnější vlivy při stříhání, např. otupení nožů, nerovnoměrnost tloušťky materiálu (volí se mezi 1,1 a 1,3)^{*)}

O střížný obvod [mm]

s tloušťka stříhaného materiálu [mm]

τ_s napětí ve smyku ($\tau_s = 0,8 \cdot R_m$) [MPa]

Napětí ve smyku (τ_s) je hodnota závislá na hloubce vtlačení nože do materiálu. Výše uvedený vzorec proto neplatí po celé hloubce střížné plochy, ale jeho hodnota se mění od nuly po určité dosažené maximum a zpět na nulu, a je závislá zejména na tloušťce stříhaného materiálu.

Vlivem přítomnosti pružných deformací vznikajících během procesu stříhání, dochází k ulpívání výstřížku (či odpadu) na střížnicích či uvíznutí v otvoru střížnice. K jejich odstranění je nutno vyvinout síly, které se označují jako síla stírací (F_u) a síla na protlačení (F_v).

Velikost síly potřebné pro setření materiálu ze střížníku se určí ze vzorce:

$$F_u = k_{eu} \cdot F_S \quad (2.4)$$

kde:

F_u stírací síla [N]

k_{eu} koeficient zohledňující vliv stříhaného materiálu [-]
(pro ocel se volí $k_{eu} = 0,10$ až $0,13$, přičemž vyšší hodnota tohoto součinitele se použije pro stříh prováděný několika střížníky současně)

F_S střížná síla [N]

Velikost síly potřebné pro protlačení výstřižku střížnicí se určí ze vzorce:

$$F_v = k_{ev} \cdot F_S \cdot n_v \quad (2.5)$$

kde:

F_v protlačovací síla [N]

k_{ev} koeficient zohledňující vliv stříhaného materiálu a velikost střížné vůle [-]
(pro ocel se volí $k_{ev} = 0,05$)

n_v počet výstřižků v neodlehčené části stříhadla [ks]

F_S střížná síla [N]

Výpočet velikosti stírací síly je potřebný pro správné zkonstruování nástroje, zejména stírací desky, správně zvolené síly ovládajících pružin a ukotvení střížníků.

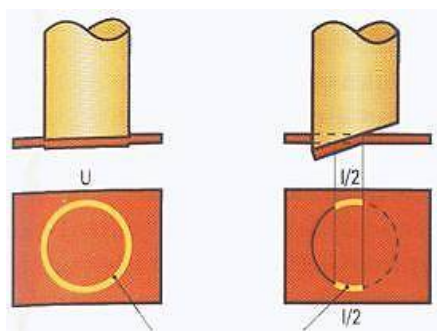
Celková střížná síla je součtem dílčích složek, tedy sil potřebných nejen pro oddělení nepotřebné části materiálu, ale také k překonání třecí síly, v důsledku které vlivem pružnosti materiálu na střížníku při zpětném pohybu ulpívá výstřižek. Jejich velikost přitom závisí na druhu a tloušťce materiálu, křivce stříhu, střížné vůli a druhu mazání při stříhu a vypočítá se z následujícího vzorce:

$$F_C = F_S + F_u + F_v \quad (2.6)$$

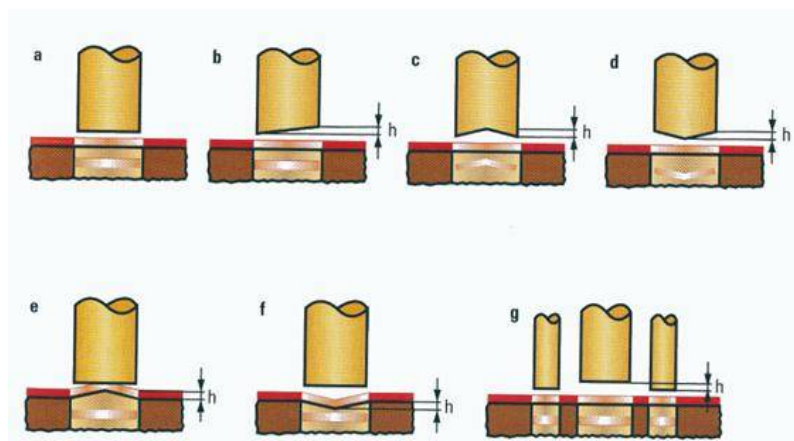
- Změna velikosti střížné síly

Úpravou čela střížníku (zkosením) lze střížnou sílu zmenšit o (30 až 60) %. Například pro materiál tloušťky 5 mm se úhel zkosení volí max. 8°. Oboustranné zešikmení ploch střížníku zajistí jeho stabilitu, tj. vyrovnáním sil na střížníku nedochází k jeho vychylování z osy. Výsledkem provedeného stříhu takto natvarovaným střížníkem je rovný výstřižek a ohnutý odpad. Střížnice je v tomto případě rovná. Porovnání délky stříhu provedeného rovnými a šikmými noži je znázorněno na obrázku 26, další možné úpravy střížníků a střížnice na obrázku 27.

Střížnou sílu lze snížit i pomocí výškově odstupňovaných střížníků; rozdíl výšek se volí od 0,3 do 0,4 tloušťky plechu.



Obr. 26 Porovnání délky stříhu při stříhání rovnými, resp. šikmými noži¹⁵.

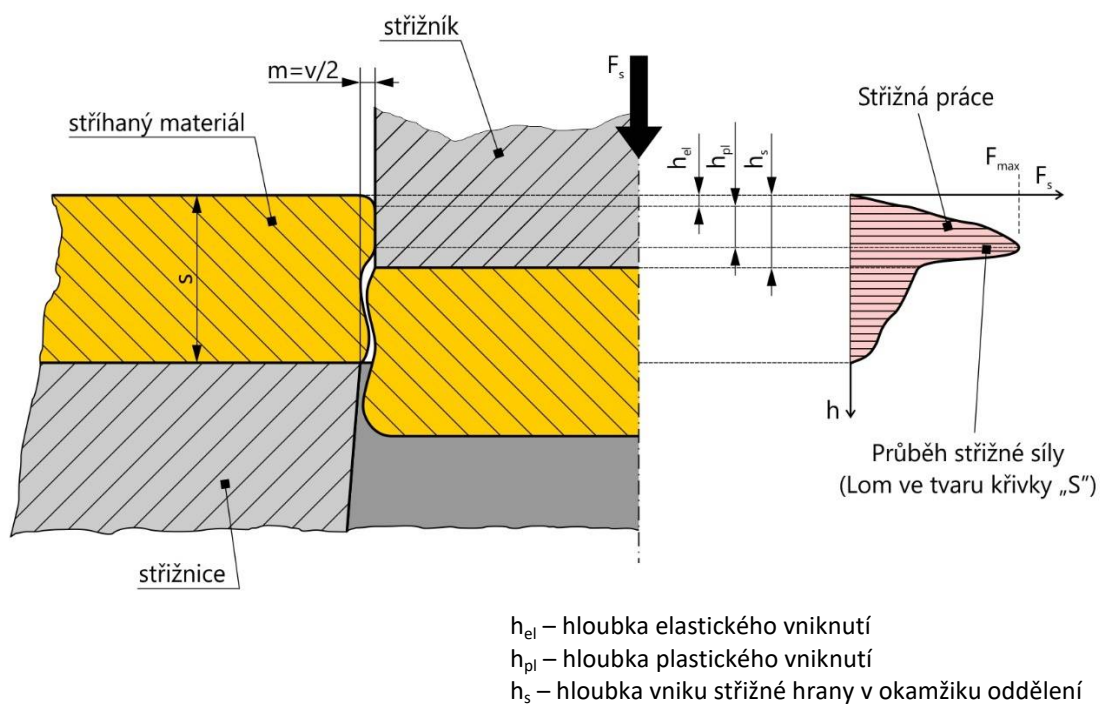


a – rovný stříh; b – jednostranné zkosení střížníku; c, d – oboustranné zkosení střížníku
e, f – zkosení střížnice; f – stupňovité uspořádání střížníků

Obr. 27 Možné úpravy střížníku a střížnice¹⁵.

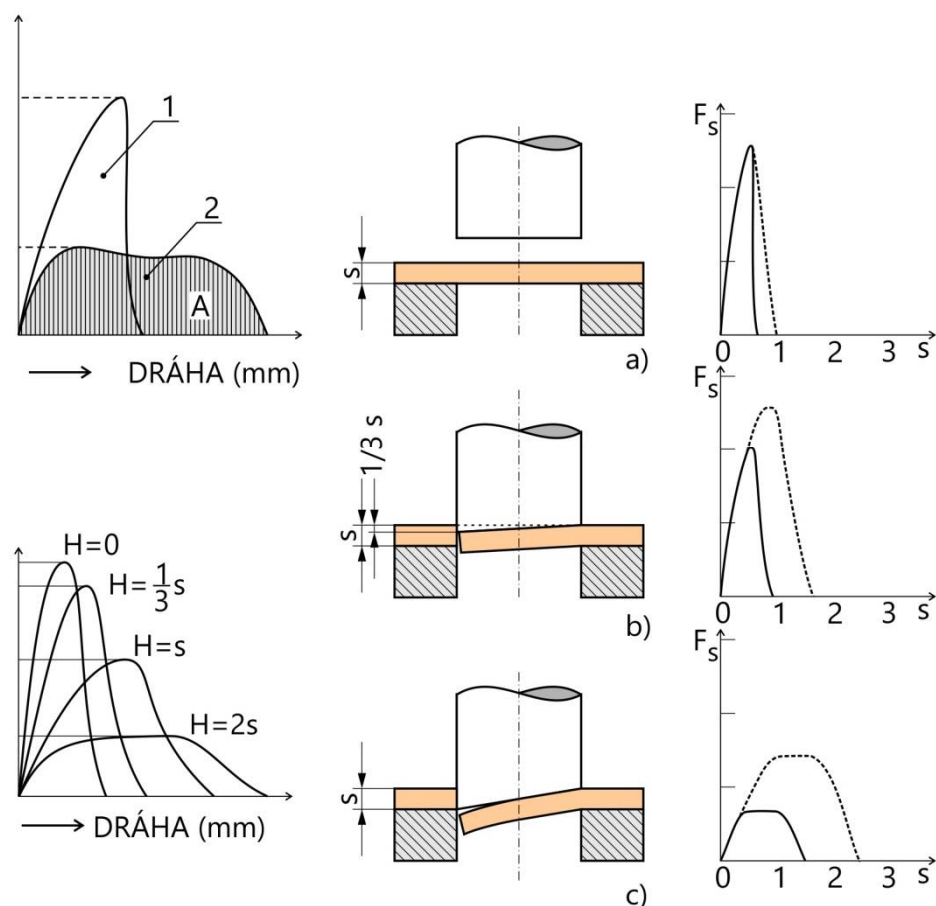
➤ Střížná práce

Jak je patrné z obrázku 28, střížná práce je znázorněna jako obsah plochy pod křivkou představující působení síly v závislosti na dráze, kterou urazí střížník při průchodu stříhaným materiálem.



Obr. 28 Závislost průběhu střížné síly na poloze střížníku¹⁶.

Mění se průběh sřížné síly a velikosti sřížné práce při sříhání rovnými a šikmými noži včetně vlivu úhlu zešíkmení na průběh síly a velikosti práce je ukázán na obrázku 29.



Obr. 29 Porovnání průběhu sřížné síly a velikosti práce při sříhání rovnými a šikmými noži¹⁵.

V grafu vlevo nahoře je znázorněn průběh sřížné síly a odpovídající velikosti sřížné práce, v grafu vlevo dole pak vliv úhlu zešíkmení nože, kdy je graficky vyjádřen průběh síly pro nulové zkosení, zkosení $1/3$ tloušťky plechu, zkosení rovno tloušťce plechu a zkosení rovno dvěma tloušťkám plechu. Z grafů vpravo je možné vyčíst rozdíly ve velikosti sřížné síly pro normální sříh (plnou čarou) a přesné sříhání (přerušovanou čarou).

Z uvedeného vyplývá, že čím více jsou nože zkosené, tím po delší dráze sříh probíhá, ale za použití menší síly. Tato skutečnost podstatně snižuje mechanické namáhání funkčních částí nástroje a má pozitivní vliv na jeho životnost. Tutéž skutečnost lze z uvedených grafů vysledovat i pro popsání rozdílu mezi sříháním přesným a běžným, kdy k provedení přesného sříhu je zapotřebí větší síla a dochází k většímu opotřebení nástroje.

Velikost střížné práce je dána vzorcem:

$$A_S = \frac{k_t \cdot F_C \cdot s}{1\,000} \quad (2.7)$$

kde:

A_S střížná práce [J]

F_C celková střížná síla [N]

s tloušťka stříhaného materiálu [mm]

k_t koeficient závislý na druhu a tloušťce stříhaného materiálu²² ($k_t = 0,35$) [-]

2.2 Technologie ohýbání

2.2.1 Princip²⁶

Ohýbání je technologický proces tváření, při kterém je materiál vzniklým napětím trvale deformován bez podstatné změny průřezu. Ohyb materiálu je realizován pomocí ohýbadel, sestávajících z ohybníku a ohybnice.

Technologické postupy ohýbání je možno rozdělit následovně:

Podle použitého nástroje:

- ruční ohýbání na strojích (strojních ohýbačkách), které se využívá zejména pro ohyb dlouhých pruhů či plechů,
- mechanizované ohýbání v ohýbadlech za pomoci mechanických nebo hydraulických lisů kdy pohyblivá část ohýbadla vykonává přímočaré vratné pohyby, případně ohýbání na speciálních strojích.

Podle poloměru ohybu:

- s malým poloměrem, který způsobí vznik velké plastické deformace,
- s velkým poloměrem a malým stupněm plastické deformace materiálu.

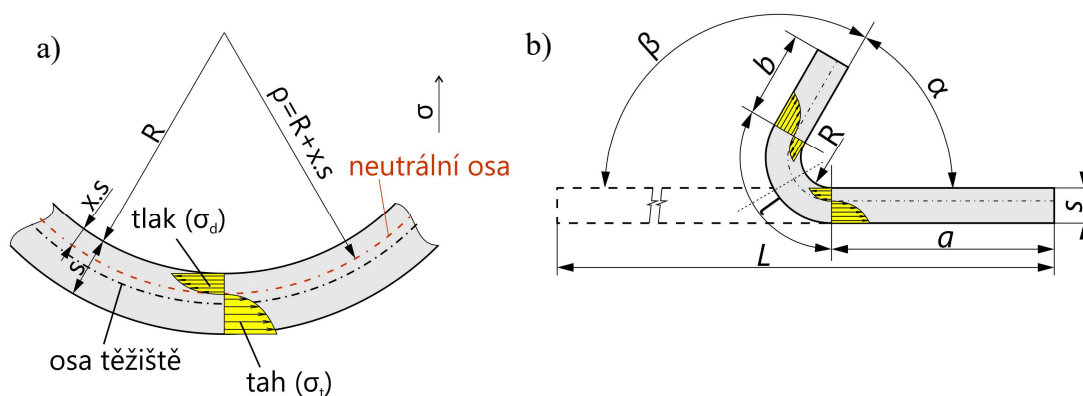
Podle technologického způsobu výroby:

- „klasické“ ohýbání (např. ohýbání trubek pomocí odvalování tvarového kotouče přes trubku umístěnou v drážce druhého kotouče),
- ohraňování na lisech, sloužící k výrobě tenkostěnných profilů, profilů o tloušťce až 20 mm a profilů o malém poloměru ohybu,
- lemování, což je operace sloužící k vyztužení okraje výlisku, případně přípravu polotovaru pro dodatečné vytvoření spoje,
- navíjení, které představuje proces tvarování materiálu postupným navíjením na válec (např. plechů do svitků),
- zakružování pomocí tří či víceválcových zakružovadel, využívané pro výrobu kuželových nebo válcových plášťů nádob, tloušťky do 30 mm, za studena. Zakružování silnějších plechů se provádí za tepla.
- válcování, profilování, stáčení na lisech, určené k výrobě trubek postupným spojitým ohýbáním pásů plechu na profilovacích strojích.

2.2.2 Napjatosti, deformace, posun neutrální osy^{15,26,30,31}

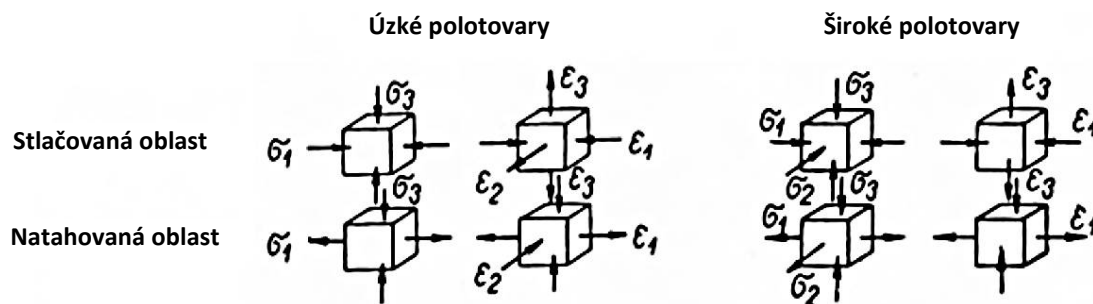
Při ohýbání je využito stejných zákonů plasticity jako u ostatních způsobů tváření, tj. oblasti plastické deformace je dosaženo překročením meze kluzu. Rozložení deformace po průřezu má pak charakter pružně plastický, měnící se od povrchu materiálu směrem k neutrální ose. Na vnitřní straně ohybu dochází ke stlačování vrstev kovu a na vnější straně k jejich roztahování a prodlužování v podélném směru a stlačování ve směru příčném. Ve střední části ohýbaného materiálu jsou tahová i tlaková napětí malá, s hodnotami pod mezí kluzu ohýbaného materiálu.

Přechod mezi těmito oblastmi zatíženými tahem a tlakem tvoří vlákna bez napětí a deformace, jejichž spojnice tvoří tzv. „neutrální osu“. Zde nedochází ke zkrácení ani k prodloužení vlákna. Při ohybech na menší poloměry (ostrých ohybech) dochází k posouvání neutrální osy k vnitřní straně ohybu, což je patrné z obrázků 30.a),b).



Obr. 30 Rozložení napětí v materiálu při ohybu^{15,30}.

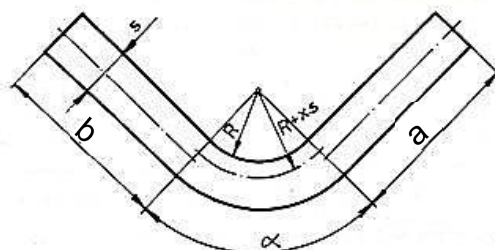
Stavy napjatosti a deformace při ohýbání úzkého (šířka \leq trojnásobná tloušťka) a širokého (šířka $>$ trojnásobná tloušťka) polotovaru jsou znázorněny na obrázku 31. Na rozdíl od ohybu širokého polotovaru dochází při ohybu úzkého polotovaru k deformaci jeho příčného průřezu. U úzkých polotovarů vede ohyb ke vzniku napjatosti rovinné, u širokých k prostorové.



Obr. 31 Schéma napětí a deformace při ohýbání²⁶.

2.2.3 Rozvinutá délka polotovaru^{15,26,30,31}

Délka dílu před ohybem se určuje z délky neutrální osy v ohýbaných částech (viz obrázek 32) a délky rovných úseků, a to zejména u silných plechů.



Obr. 32 Posunutí neutrální osy v místě ohybu¹⁵.

Poloha neutrální osy závisí na poměru poloměru ohybu ku tloušťce ohýbaného materiálu a poloměr ohybu neutrální osy se určí ze vzorce:

$$\rho = R + x \cdot s \quad (2.8)$$

kde:

ρ poloměr ohybu neutrální osy [mm]

R vnitřní poloměr ohybu [mm]

x součinitel posunutí neutrální osy (pro materiál tloušťky 5 mm je $x = 0,41$)¹⁵ [-]

s tloušťka materiálu [mm]

Délka oblouku provedeného ohybu se stanoví ze vztahu:

$$l = \frac{\pi \cdot \rho \cdot \alpha}{180} \quad (2.9)$$

kde:

l délka oblouku [mm]

α úhel rozevření [°]

ρ poloměr ohybu neutrální osy [mm]

Pro součásti ohýbané za studena z plechů, pásů a plochých tyčí je možné uvažovat, že při úhlu ohybu 90° se neutrální osa nachází v jedné třetině (jak je znázorněno na obrázku 33) a pro úhly nad 90° do 150° v polovině tloušťky materiálu od vnitřního okraje ohybu, a proto lze v běžných případech použít pro stanovení rozvinuté délky dílce s dostatečnou přesností i výpočty provedené podle následujících vzorců:

Rozvinutá délka ohybu pro úhly rozevření α rovny 90°:

$L = a + b + l$, kde:

$$l = 0,01745 \cdot \left(R + \frac{s}{3}\right) \cdot (180 - \alpha); \text{ případně } l = 1,571R + 0,5236s \quad (2.10); (2.11)$$

Rozvinutá délka ohybu pro úhly rozevření α nad 90° do 150° :

$L = a + b + l$, kde:

$$l = 0,01745 \cdot \left(R + \frac{s}{2}\right) \cdot (180 - \alpha) \quad (2.12)$$

Případně, pro několikrát ohnutou součást, se rozvinutá délka určí ze vztahu:

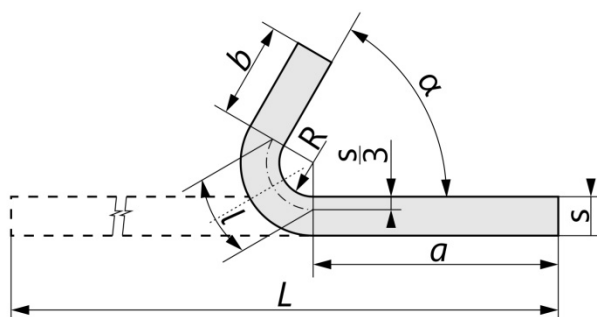
$$L = A + B + C + \dots + (l_1 + l_2 + l_3 \dots), \quad (2.13)$$

kde:

$L = 0,4292R + 1,476s$ pro úhel rozevření $\alpha = 90^\circ$;

$L = 0,01745 \left(R + \frac{s}{2}\right) \cdot (180 - \alpha) - 2(R + s)tg \frac{180 - \alpha}{2}$ pro úhel rozevření α nad 90° do 150° .

Není-li požadován přesný rozměr součásti, vypočítaná délka rozvinuté součásti se zaokrouhluje směrem nahoru na 0,5 nebo 1 mm.



R vnitřní poloměr ohybu
 α úhel rozevření
 s tloušťka materiálu
 a délka ramene
 b délka ramene
 l délka oblouku
 L rozvinutá délka

Obr. 33 Rozvinutá délka součásti (pro úhly rozevření do 90°)³⁰.

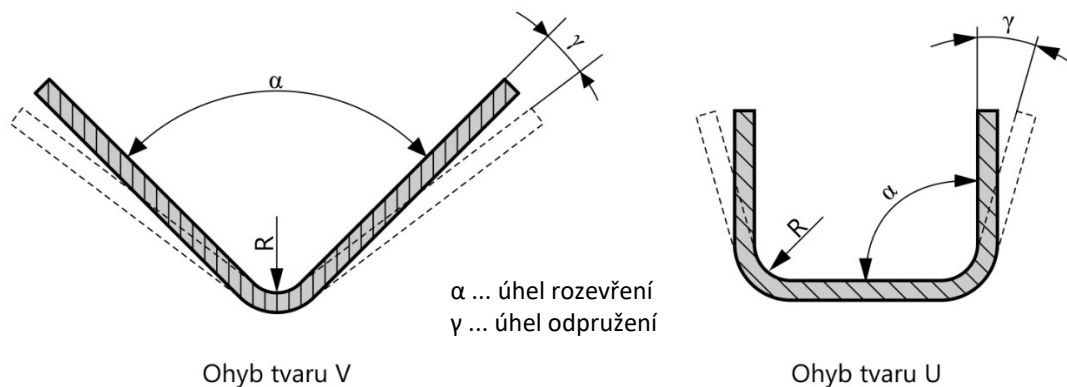
Při výpočtu je zapotřebí vycházet zejména z předpokladu zachování pevnosti a pružnosti navrhovaného dílce, zejména s uvažováním nejmenšího poloměru ohybu, který musí být proveditelný vzhledem k dané tvárnosti materiálu tak, aby nedošlo k vzniku trhlin ve vnějších vláknech, která jsou při ohybu prodlužována. Zároveň je zapotřebí eliminovat otřepy při stříhání, které mohou mít negativní vliv na vznik trhlin při ohybu, zejména pak ty na vnější straně poloměru ohybu.

Nezanedbatelná je také nejmenší délka ohýbaného ramene, která má být rovna nejméně dvojnásobku tloušťky ohýbaného materiálu.

2.2.4 Odpružení při ohybu^{15,26,31,36}

Tento jev je nastává po odlehčení tvářecího nástroje, kdy ohýbaný materiál má snahu se vrátit k svému původnímu tvaru a je důsledkem elastické deformace vznikající kolem neutrální osy ohýbaného materiálu.

Čím delší jsou ramena ohýbané součásti, tím většího významu velikost úhlu odpružení nabývá. Úhel γ , o který materiál odpruží při ohybu, je zakreslen na obrázku 34.



Obr. 34 Odpružení materiálu pro ohyby tvaru „V“ a „U“¹⁵.

Vzorec pro výpočet velikosti úhlu odpružení při ohybu do tvaru „V“:

$$\operatorname{tg} \gamma = 0,375 \cdot \frac{l}{k_o \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E} \quad (2.14)$$

Vzorec pro výpočet velikosti úhlu odpružení při ohybu do tvaru „U“:

$$\operatorname{tg} \gamma = 0,75 \cdot \frac{l_m}{k_o \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E} \quad (2.15)$$

kde:

- γ úhel odpružení [°]
- l_v vzdálenost ohýbacích hran [mm] (obr. 35)
- l_m rameno ohybu [mm] $l_m = r_m + r_p + 1,2s$ (obr. 34)
- E modul pružnosti v tahu [MPa]
- k_o součinitel pro výpočet úhlu odpružení [-]; pro poměr $R/s = 1$ je $k = 0,58$ (dle³⁶)
- R_e mez kluzu [MPa]
- r_m poloměr ohybnice [mm]
- r_p poloměr ohybníku [mm]
- s tloušťka materiálu [mm]

Na velikost úhlu odpružení mají zejména vliv:

- tloušťka ohýbaného materiálu (při ohýbání silnějších materiálů se v závislosti na zmenšujícím se poloměru ohybu velikost úhlu odpružení také zmenšuje),
- mechanické vlastnosti ohýbaného materiálu,
- poloměr ohybu,
- způsob ohýbání (konstrukce ohýbacího nástroje),
- geometrie ohýbané součásti.

Negativní vliv odpružení na dodržení rozměrové přesnosti výsledného výrobku lze eliminovat, popřípadě vyloučit např. následujícími způsoby:

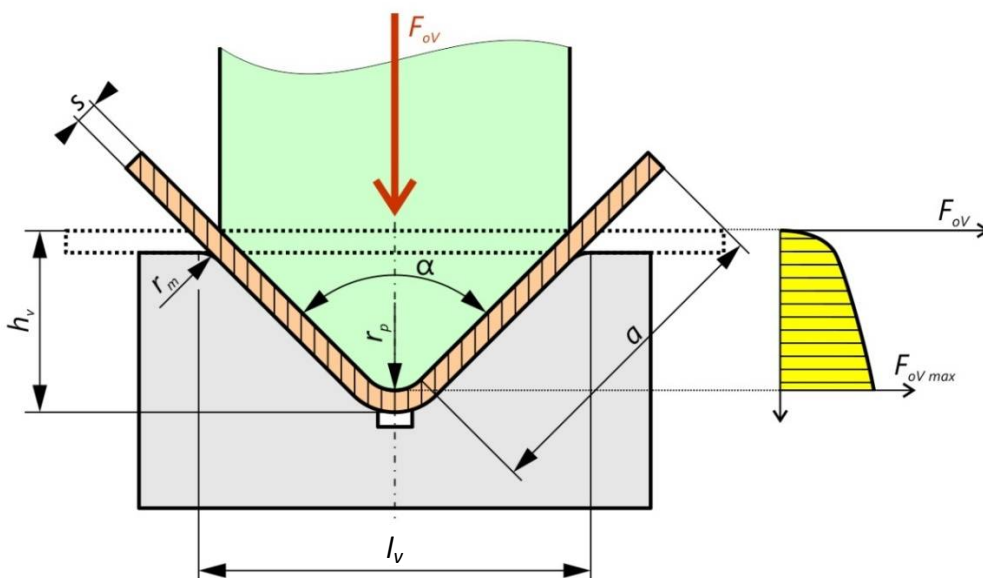
- k poloměru ohybu se přičte hodnota úhlu odpružení pro daný materiál získaná buď z tabulky nebo výpočtem podle empirických vzorců a zároveň se provede příslušná úprava ohýbadla,
- kalibrací, tj. zvětšením lisovací síly na konci cyklu lisování, kdy dojde v místě ohybu k plastické deformaci a případně k úplnému vymizení odpružení,
- úpravou – podbroušením pohyblivé čelisti o úhel odpružení, zaoblením dolní strany pohyblivé čelisti a přidržovače poloměrem ohybu.

Pro ocel jakosti 1.0038, tloušťky 5 mm a poloměr ohybu $R = 5$ mm je tabulková hodnota úhlu odpružení 5° (platí pro hodnoty poměru poloměru ohybu ku tloušťce materiálu 0,8 až 2)¹⁵.

Malá změna tvaru vyráběného dílce vzhledem k účelu jeho použití a požadované přesnosti výroby nehraje roli, velikost odpružení lze proto v tomto případě zanedbat.

2.2.5 Výpočet ohýbací síly a práce^{15,26,31}

Ohýbaný materiál lze považovat za nosník, umístěný na dvou podporách a zatížený silou působící kolmo na materiál, uprostřed obou podpor – viz obrázek 35.



Obr. 35 Ohyb do tvaru „V“¹⁵.

Pro ohyb do tvaru „V“ se maximální ohýbací síla stanoví dle vzorce:

$$F_{oV} = \frac{b_s \cdot s^2}{l_v} R_m \quad (2.16)$$

kde:

F_{oV} maximální ohýbací síla při ohybu do tvaru „V“ [N]

b_s šířka ohýbané součásti [mm]

l_v vzdálenost ohýbacích hran [mm]

R_m mez pevnosti [MPa]

s tloušťka polotovaru [mm]

Práce vykonaná při ohybu materiálu se vypočítá následovně:

$$A_o = F_O \cdot h \cdot k_{oV} \quad (2.17)$$

kde:

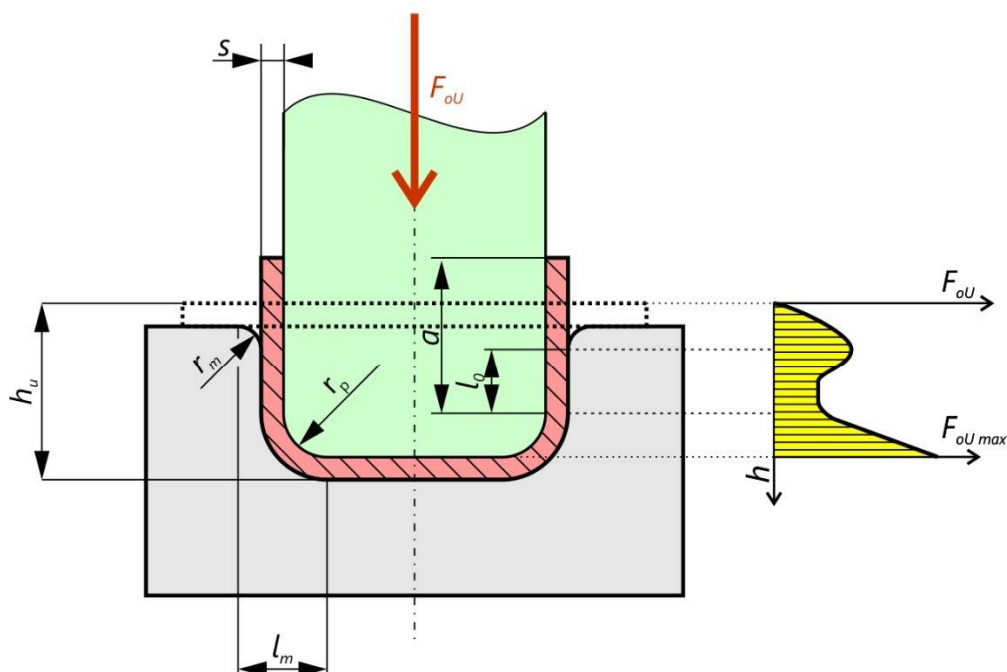
A_o ohýbací práce [J]

F_O celková ohýbací síla [N]

h_v zdvih (koncová poloha) [mm]

k_{oV} koeficient průběhu ohýbací síly ($k_{oV} = \frac{1}{3}$)

Při ohybu do tvaru „U“, který probíhá jak je znázorněno na obrázku 36, se síla a práce vypočítají za pomoci výpočetních vztahů uvedených na následující straně.



Obr. 36 Ohyb do tvaru „U“¹⁵.

Výpočetní vztah pro ohýbací sílu při ohybu do tvaru „U“:

$$F_{oU} = \frac{0,4 \cdot R_m \cdot s^2 \cdot b_s}{l_m} \quad (2.18)$$

kde:

F_{oU} ohýbací síla při ohybu do tvaru „U“ [N]

b_s šířka polotovaru [mm]

R_m mez pevnosti [MPa]

s tloušťka materiálu [mm]

l_m rameno ohybu [mm]

$$l_m = r_m + 1,2s + r_p \text{ [mm]} \quad (2.19)$$

Při použití přidržovače je nutno tuto sílu zvětšit o sílu přidržovače, který má zároveň funkci vyhazovače:

$$F_p = 0,25 \text{ až } 0,3 F_{oU} \quad (2.20)$$

kde:

F_p síla přidržovače [N]

F_{oU} ohýbací síla při ohybu do tvaru „U“ [N]

Celková síla při ohybu s kalibrací je pak stanovena:

$$F_{cU} = 3 \cdot (F_{oU} + F_p) \quad (2.21)$$

kde:

F_{cU} celková síla při ohybu s kalibrací [N]

F_p síla přidržovače [N]

F_{oU} ohýbací síla při ohybu do tvaru „U“ [N]

Práce vykonaná při ohybu materiálu do tvaru „U“ (včetně kalibrace) se vypočítá jak je uvedeno dále (2.22).

$$A_{cU} = m_s \cdot \frac{F_{cU} \cdot h_u}{1000} \text{ [J]} \quad (2.22)$$

kde:

A_{cU} práce vykonaná při ohybu materiálu do tvaru „U“ (včetně kalibrace) [J]

m_s součinitel respektující průběh síly [-]; $m_s = 1/6$

F_{cU} celková síla potřebná pro provedení ohybu do tvaru „U“ [N]

h_u pracovní zdvih [mm]; $h_u = l_0 + r_p + r_m + s$ (viz obrázek 34)

2.3 Sdružený postupový nástroj^{21,24,25,45,46}

Postupová stříhadla jsou určena zejména pro velkosériovou a hromadnou výrobu.

Postupové sdružené nástroje se od jednoúčelových nástrojů již na první pohled liší složitější konstrukcí. Princip sdruženého nástroje spočívá ve sdružení několika pracovních úkonů různého druhu jako je například stříhání, ohýbání, tažení aj. Takto se při průchodu pásu plechu daným nástrojem postupně vyrobí kompletní tvar součásti. V každém případě musí nástroj obsahovat především hlavní funkční (tvářecí) části určené pro každou tvářecí technologii. Například pro případ stříhání je to střížník a střížnice, pro ohýbání je to ohybník a ohybnice apod.

Na obrázku 37 je uveden příklad výroby dílce ve sdruženém postupovém nástroji.



Obr. 37 Výroba dílce ve sdruženém postupovém nástroji⁴⁸.

Postupové sdružené nástroje, které jsou určeny pro provedení stříhu i ohybu dílce, musí být pro zabezpečení bezporuchového chodu konstruovány tak, aby vedení, propojující jednotlivé jejich části bylo masivní. Toto opatření je nutné dodržet z důvodu rozdílných přesností (vůlí) při stříhu a ohybu. Postupně tvarovaný dílec je po celou dobu posuvu nástrojem spojen můstky (někdy nazývanými „páteř“), a to z důvodu eliminace osového posunutí.

Aby byla zajištěna dlouhodobá životnost nástroje, střížník nesmí vnikat příliš hluboko do střížnice vlivem různé pracovní dráhy ohybníku a střížníku.

Při stanovování rozměrů a volby materiálu jednotlivých částí nástroje musí být brán ohled na finální rozměrovou přesnost výrobku, zejména z důvodu opotřebení funkčních částí stříhadla.

Konstrukce nástroje se odvíjí od činných částí, které musí být sestaveny tak, aby byly ustaveny vůči sobě co nejpresněji. Zároveň musí být řešeno upnutí nástroje v lisovacím stroji, přísun materiálu včetně jeho orientace a posunu nástrojem, a to vše při respektování vyváženosti nástroje jako celku a pravidel bezpečnosti a ochrany zdraví pracovníků.

Na konstrukci nástrojů má vliv mnoho ukazatelů. Mezi základní patří:

- technické ukazatele, zaručující, že nástroj bude konstrukčně zpracován tak, aby vyhovoval účelu, pro který má být použit. A to jak trvanlivostí, tak přesností, precizností i spolehlivostí.

Zároveň musí splňovat podmínku co nejjednodušší výroby a následné montáže, rychlé a jednoduché opravitelnosti při zachování kvality nástroje jako celku.

- ekonomické, což představuje minimální náklady na jeho provoz (např. spotřebu energie), při maximálním využití. Výrobní náklady včetně ceny pořízení mají být co nejnižší, ale produktivita práce vysoká.

Životnost nástroje je závislá na jeho konstrukci, použitých materiálech a jejich tepelném zpracování, výrobní technologii a v neposlední řadě i na způsobu a šetrnosti používání v provozu a jeho pravidelné údržbě.

Nástroj sestává ze dvou základních částí – dolní a horní.

Mezi hlavní komponenty dolní části nástroje patří:

- základová deska, tj. část, která je pomocí drážek upnuta na stole lisu,
- stojny, dorazy, tvarové části, hledáček,
- vodicí lišty,
- střižná matrice,
- ohybnice,
- sestava zajišťující stejnoměrné zvedání pásu plechu tak, aby mohl být proveden krokový posun k další operaci,
- odbavení odpadu a hotového dílu, např. formou propadové díry a skluzu,
- prvky, umožňující bezpečný transport či přenášení spodní části i celého nástroje (očko, kulatina zakončená výstupkem apod.),
- případně dosedací bloky („dosedky“), které při skladování nástroje vymezí vůli mezi jednotlivými částmi tak, aby nedocházelo k jejich nadměrnému namáhání.

Horní část nástroje se skládá zejména z:

- kotevní desky sloužící k uchycení tvarovacích částí (střižníků, ohybníků), vedení, dorazů,
- přidržovače osazeného stíracími vložkami a odpruženého například plynovými pružinami,
- prvků, umožňujících samostatné a bezpečné přenášení horní části nástroje,
- upínací desky (držáku stopky), sloužící k připojení k pohyblivému beranu lisu.

Jednotlivé části nástroje mohou být vyrobeny z oceli nebo z litiny.

V následující tabulce 5 je uveden přehled nejběžnějších materiálů používaných pro výrobu vybraných částí nástroje.

Tab. 5 Materiály pro konstrukci sdruženého postupového nástroje pro stříh a ohyb²⁵.

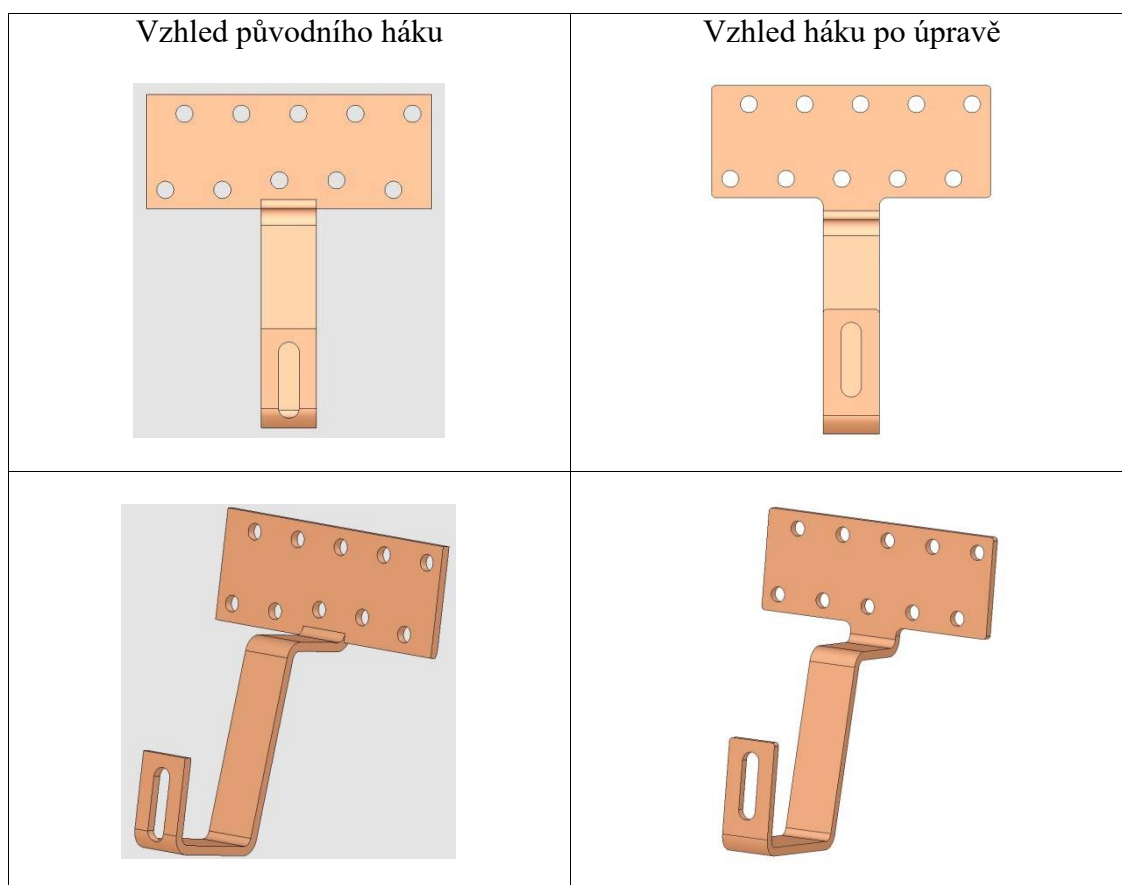
Část nástroje	Litina	Ocel	Ocel pro zvýšené nároky
Základové desky	42 2456	11 500, 11 370, 11 340, 11 375, 42 2661	
Upínací desky	42 2456	11 500, 11 370, 42 2661	
Vodicí pouzdra		11 500, 11 600	
Vodicí sloupky a pouzdra		14 220, 14 160, 19 221	
Upínací stopky		11 600	
Hledáčky		19 421, 19 312, 14 220	
Dorazy		11 500, 12 061, 19 312	
Vodicí lišty		11 600	
Opěrné desky		11 500, 11 600, 11 700	12 050, 19 083
Přidržovací desky	42 2456	11 500, 11 600	19 191, 19 221, 19 312
Střížníky		19 191, 19 221	19 312, 19 431, 19 436
Střížnice		19 191, 19 356	19 312, 19 436, 19 830
Ohybníky, ohybnice		19 191, 19 221	19 312, 19 436, 19 437

3 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY DÍLCE

Vzhledem k hlavnímu cíli diplomové práce navrhnout výrobu kotevního háku tak, aby byla rychlejší a pokud možno i hospodárnější je nutné provést jisté úpravy originálního dílu, s cílem:

- odstranit hrany a ostré přechody v místech, která jsou nejvíce mechanicky namáhána,
- odstranit svarový spoj, který je sice velmi pevný, ale v místě spoje může docházet k vzniku mezikrystalové koroze z důvodu tepelného ovlivnění materiálu,
- přizpůsobit díl pro co nejjednodušší montáž a zároveň použitelnost pro většinu střešních krytin (tašek),
- zvolit takový materiál (jakosti a tloušťky), tváření kterého bude technologicky snadnější a zároveň tento materiál bude cenově dostupnější, avšak ne na úkor tuhosti a korozní odolnosti celé jeho konstrukce.

V souladu s pravidly technologičnosti konstrukce, podrobně popsány v kapitole 3.1 byl navržen nový tvar řešeného dílce. Model původní a nově navržené varianty konstrukce háku je znázorněn na obrázku 38 a byl vytvořen pomocí programu Cimatron, který je používán pro konstrukci postupových nástrojů.



Obr. 38 Model původního a nově navrženého háku.

3.1 Technologičnost konstrukce^{22,27,28,31,53}

Zadáním této diplomové práce je konstrukce sdruženého postupového nástroje pro výrobu dílu, jehož vzhled a rozměry jsou již dané a mohou se měnit jen minimálně a s ohledem na daný účel použití.

Obecně je však při konstrukci jakéhokoli výrobku nutné dodržet následující pravidla technologičnosti:

Mezi základní požadavky na jakýkoli výrobek se řadí zejména funkčnost i funkční spolehlivost, trvanlivost a také estetika, ergonomika a ekologičnost, při vynaložení adekvátních nákladů na jeho výrobu. S ohledem na hospodárnost a technické možnosti výroby je zapotřebí zajistit maximální využití materiálu při současném dodržení technologických postupů, zabezpečujících funkčnost a maximální životnost finálního výrobku.

Pojem „technologičnost konstrukce“ zahrnuje obecné zásady, které je zapotřebí respektovat při návrhu a výrobě tak, aby výsledný výrobek splnil výše uvedené předpoklady, a lze je shrnout následovně:

- vysoká využitelnost materiálu (malý odpad, vhodné profily, odlehčení nezatěžovaných částí),
- přizpůsobení konstrukce technologii výroby, která musí být volena s ohledem na objem výroby,
- nízká cena, nízký počet druhů materiálů,
- volba tvaru a rozměrů s ohledem na technologii výroby (tloušťky stěn, otvory, dutiny, drážky, úkopy, výstupky, žebra, dělicí plochy, zaoblení atd.),
- přiměřené nároky na drsnost, přesnost, výskyt vad, rozptyl mechanických vlastností atd.,
- jednoduchá, krátká a nenákladná příprava výroby,
- co nejmenší spotřeba speciálních nástrojů – přípravků, strojů a zařízení,
- co nejmenší počet a nejnižší složitost operací,
- co nejkratší doba a průběžný čas výroby a montáže,
- co nejjednodušší manipulace a doprava,
- co nejmenší spotřeba výrobních a skladovacích ploch,
- využívání typizace a unifikace,
- využívání prvku dědičnosti (přebírání osvědčených dílů a konstrukčních prvků),
- možnost nenáročné recyklace výrobku.

Technologičnosti konstrukce výstřižků se také dosáhne respektováním některých nedokonalostí procesu stříhání. Jsou to:

- a) drsnost střížné plochy, jež vzniká z větší části lomem materiálu,
- b) malé zešíkmení střížné plochy vlivem mezery mezi břity, jež se opotřebením stříhadla zvětšuje,

- c) zeslabení tloušťky plechu podél střížné plochy. U výstřížků malé šířky a otevřeného stříhu se projeví ještě zvětšení šířky,
- d) zpevnění materiálu do hloubky asi (0,1 až 0,2) jeho tloušťky,
- e) odchylky v rozměrech výstřížků způsobené výrobou a hlavně opotřebením stříhadla, zešikmením střížné plochy a v malé míře i odpružením
- f) prohnutí některých výstřížků ohybovým momentem obou složek střížné síly. Zabránit nedokonalostem je samozřejmě možné, ovšem za cenu zvýšení výrobních nákladů.

Z výše uvedených vlastností procesu stříhání a stejně tak pro proces ohýbání lze odvodit tato pravidla technologičnosti:

1. Nezužovat tolerance rozměrů pod mez, které lze dosáhnout při běžné práci dobré li-sovny.
2. Není-li střížná plocha funkční plochou součásti, nepředepisovat její drsnost ani kol-most k ploše plechu.
3. Rovinnost malých výstřížků z tlustých plechů větší tvárnosti se může porušit vlivem ohybového momentu dvojice střížných sil. Jedná se zejména o úzké kroužky, podlož-ky apod.
4. Nejmenší velikost otvorů, jež lze běžným nástrojem prostříhnout, závisí na tloušťce a druhu materiálu.
5. Otvorům kruhového průřezu je třeba vždy dát přednost.
6. Respektovat danou minimální vzdálenost mezi otvory anebo otvorů od okraje výstříž-ku.
7. Šířka vyčnívajících částí nebo nejmenší šířka štíhlých výstřížků má být 1,5násobkem tloušťky materiálu.
8. Rohy na výstřížku mají být sraženy nebo zaobleny. Velmi ostré rohy lze vyrobit jen na dvě operace.
9. Není správné měnit na výstřížku poloměr zaoblení rohů, střídat ostré a zaoblené rohy.
10. Plynulé přechody oblouků do přímých částí obrysu apod. zdražují nástroj a vyžadují uzavřený stříh.
11. Při stříhání na nůžkách volit tvary vyžadující nejmenší počet stříhů.
12. Nejvhodnější vnější tvar výstřížku je rovnoběžník, jehož protější strany jsou stejně tvarovány jako negativ a pozitiv. Čím přesněji je toto pravidlo dodrženo, tím lepší je využití materiálu. V četných případech lze potom vynechat i přepážky.
13. Kruhový obrys výstřížku je obecně nevýhodný.
14. Rozvětvené tvary výstřížku jsou velmi neúspěšné, je třeba hledat tvary spojitě. Čím je jednodušší obrys, tím je snazší a levnější výroba nástroje a jeho údržba, zvláště u ma-lých výstřížků.
15. Při ohýbání nepřekročit kritickou hodnotu poloměru ohybu, danou poměrem poloměru ohybu ku tloušťce ohýbaného materiálu.
16. Osa ohybu má být kolmá na směr vláken, případně minimálně pod úhlem 30°.
17. Před vlastním ohýbáním odstranit případné ořepy vzniklé stříháním polotovaru, pří-padně přístřih umístit do nástroje tak, aby tyto ořepy negativně neovlivnili proces ohýbání, tj. na vnitřní stranu ohybu, případně zvolit větší poloměr ohybu.

18. Hodnotu poloměru ohybu volit takovou, aby byla překročena hodnota meze kluzu v krajních vláknech materiálu.
19. U malých poloměrů ohybu musí být zaručeno, že deformace krajních vláken materiálu u takto malého ohybu nepřekročí hodnotu meze pevnosti.
20. Z hlediska odpružení je vhodné volit poloměr ohybu co nejmenší, avšak s ohledem na tvárnost a tloušťku ohýbaného materiálu co největší.
21. Délka ohýbaného ramene by měla být minimálně dvojnásobkem tloušťky ohýbaného materiálu.
22. Otvory, nacházející se v blízkosti ohybu, by měly být od něj vzdáleny minimálně o dvojnásobek tloušťky materiálu, aby nedošlo k jejich deformaci.

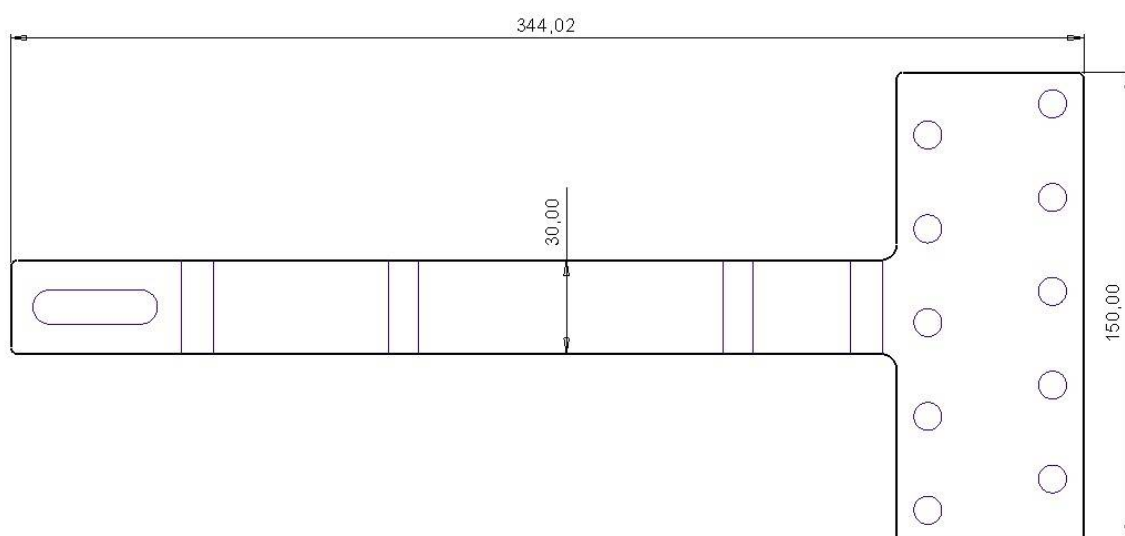
Technologičnost konstrukce není jednoznačný pojem, proto je zapotřebí vždy vzít v potaz specifika dané výroby (kusová, sériová, hromadná apod.).

Respektováním výše uvedených pravidel již v návrhu konstrukce výrobku a uvážlivým plánováním jednotlivých operací lze předejít případným komplikacím ve výrobě a získat tím významnou finanční i časovou úsporu.

Příprava výroby by tedy měla probíhat za účasti všech zástupců zainteresovaných útvarů (konstruktérů, materiálových specialistů, nástrojařů, technologů, ekonomů) a měla by být vždy výsledkem kompromisu zástupců těchto oborů.

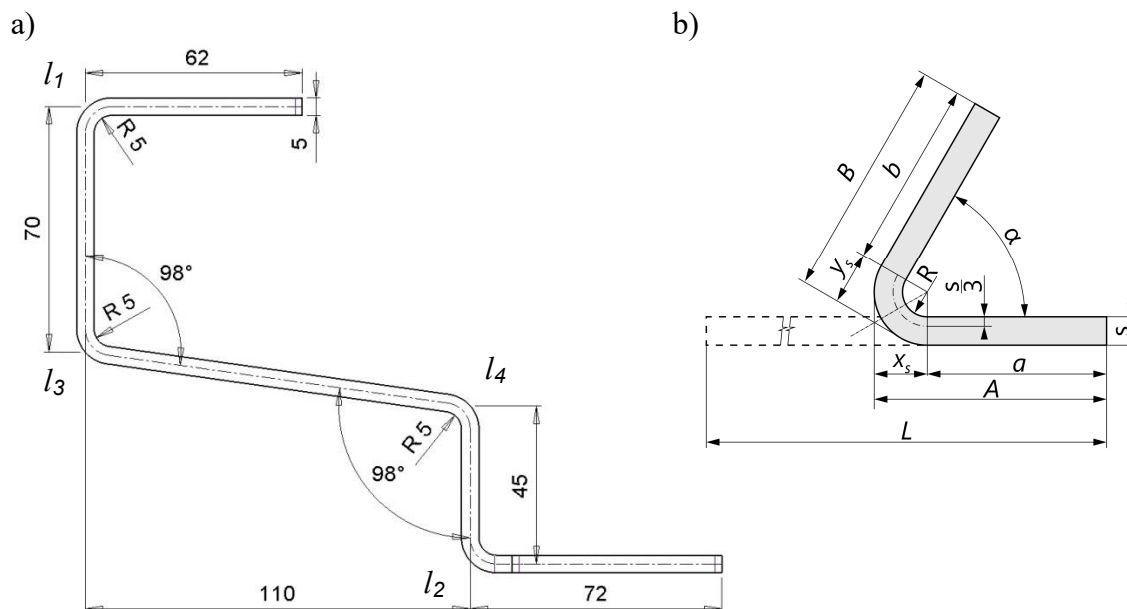
3.2 Rozvinutý tvar dílce

Vzhledem k tomu, že při tvarování dílce je jednou z operací ohýbání, je zapotřebí stanovit rozvinutou délku součásti (obr. 39), z které bude vycházet tvorba nástřihového plánu.



Obr. 39 Rozvinutý tvar dílce vytvořený softwarem Cimatron.

Při výpočtu rozvinuté délky dílce se vychází z nákresu na obrázku 40.a) a výpočtových vztahů (2.8) až (2.12).



Obr. 40 Dílec – označení oblouků a délek ramen.

Nejmenší poloměr ohybu materiálu tloušťky 5 mm a pevnosti v tahu nad 392 MPa do 490 MPa je doporučen 8 mm (napříč vlákem) a 10 mm (podél vláken)³¹.

Obecně musí být minimální poloměr ohybu přizpůsoben tvárnosti materiálu, a to tak, aby nedocházelo k vzniku trhlin na vnější straně ohybu. Výpočet se provede podle vztahu (3.1):

$$R_{min} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{100 - 0,8 \cdot A_5}{0,8 \cdot A_5} \right) \quad (3.1)$$

kde:

R_{min} nejmenší poloměr ohybu [mm]

A_5 tažnost na krátké tyči⁴⁹ [%]

$$R_{min} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{100 - 0,8 \cdot A_5}{0,8 \cdot A_5} \right) = \frac{5}{2} \cdot \left(\frac{100 - 0,8 \cdot 26}{0,8 \cdot 26} \right) = 9,5 \text{ mm}$$

V praxi je však minimální poloměr ohybu možné určit podle empirického vzorce⁵²:

$$R_{min} = c \cdot s \quad (3.2)$$

kde:

R_{min} nejmenší poloměr ohybu [mm]

c_{ocel} koeficient pro ocel [-]; pro ohyb kolmo na směr vláken materiálu je hodnota $c = 0,5$ až $0,55$; pro ohyb ve směru vláken se použije hodnota dvojnásobná

$$R_{min} = c_{ocel} \cdot s = 0,5 \cdot 5 = 2,5 \text{ mm (příp. } R_{min} = 0,5 \cdot 5 \cdot 2 = 5 \text{ mm)}$$

Na základě hodnoty vypočítané dle vzorce (3.1) by bylo nutné změnit velikost poloměrů ohybů na minimální hodnotu 9,5 mm. Avšak v souladu s výpočtem podle empirického vzorce (3.2) bude použita hodnota poloměru ohybu 5 mm, tj. podle originálního dílu.

Rozvinutou délku polotovaru lze získat několika možnými způsoby:

Vstupní údaje pro výpočty:

- tloušťka materiálu $s = 5$ mm,
- vnitřní poloměr ohybu $R = 5$ mm,
- součinitel posunutí neutrální osy¹⁵ $x = 0,41$,
- ohyby l_1, l_2, l_3, l_4 dle obr. 40.a), délky ramen $a, b, c, d, e, A, B, C, D, E$ dle obr. 40.b).

1. způsob – zjištění délky oblouku podle výpočtových vztahů (2.8) a (2.9), kdy se provede přesný výpočet polohy neutrální osy:

$$\rho = R + x \cdot s = 5 + 0,41 \cdot 5 = 7,05 \text{ mm}$$

$$l_{1,2} = \frac{\pi \cdot \rho \cdot \alpha}{180} = \frac{\pi \cdot 7,05 \cdot 90}{180} = 11,07 \text{ mm}$$

$$l_{3,4} = \frac{\pi \cdot \rho \cdot \alpha}{180} = \frac{\pi \cdot 7,05 \cdot 98}{180} = 12,06 \text{ mm}$$

$$L_1 = a + b + c + d + e + (l_1 + l_2 + l_3 + l_4)$$

$$L_1 = 64,5 + 31,335 + 98,75 + 56,335 + 54,5 + (2 \cdot 11,07) + (2 \cdot 12,06) = 351,68 \text{ mm}$$

2. způsob – zjištění délky oblouku podle výpočtových vztahů (2.10) až (2.12), kdy se poloha neutrální osy „pouze“ předpokládá:

$$l_{1,2} = 1,571R + 0,5236s = 1,571 \cdot 5 + 0,5236 \cdot 5 = 10,47 \text{ mm; nebo}$$

$$l_{1,2} = 0,01745 \cdot \left(R + \frac{s}{3}\right) \cdot (180 - \alpha) = 0,01745 \cdot \left(5 + \frac{5}{3}\right) \cdot (180 - 90) = 10,47 \text{ mm}$$

$$l_{3,4} = 0,01745 \cdot \left(R + \frac{s}{3}\right) \cdot (180 - \alpha) = 0,01745 \cdot \left(5 + \frac{5}{2}\right) \cdot (180 - 98) = 10,73 \text{ mm}$$

$$L_2 = a + b + c + d + e + (l_1 + l_2 + l_3 + l_4)$$

$$L_2 = 64,5 + 31,335 + 98,75 + 56,335 + 54,5 + (2 \cdot 10,47) + (2 \cdot 10,73) = 347,82 \text{ mm}$$

3. způsob – určení délky oblouků a následně celkové rozvinuté délky s využitím vztahu (2.13), přičemž se vychází z hodnot naměřených na originálním dílu, tj. celkové délky ramene plus příslušného oblouku; délka oblouku se následně odečte:

$$L_3 = A + B + C + D + E + (l_1 + l_2 + l_3 + l_4),$$

kde:

$$l_{1,2} = 0,4292R + 1,476s = 0,4292 \cdot 5 + 1,476 \cdot 5 = -9,526 \text{ mm}$$

$$l_{3,4} = 0,01745 \left(R + \frac{s}{2}\right) \cdot (180 - \alpha) - 2(R + s) \operatorname{tg} \frac{180 - \alpha}{2} = 0,01745 \left(5 + \frac{5}{2}\right) \cdot (180 - 98) - 2(5 + 5) \operatorname{tg} \frac{180 - 98}{2} = -6,65 \text{ mm}$$

$$A = 74,5 \text{ mm; } B = 50,025 \text{ mm; } C = 116,13 \text{ mm; } D = 75,025 \text{ mm; } E = 64,5 \text{ mm}$$

$$L_3 = 74,5 + 50,025 + 116,13 + 75,025 + 64,5 + [2 \cdot (-9,526)] + [2 \cdot (-6,65)]$$

$$L_3 = 347,828 \cong 347,83 \text{ mm}$$

4. způsob – hodnota získaná výpočtem provedeným automaticky softwarem použitým pro konstrukci nástroje:

$$L_4 = 344,02 \text{ mm}$$

Z výše uvedených výpočtů je patrné, že hodnoty vypočítané dle vzorce (2.10) až (2.13), tj. 347,8 mm se pouze nepatrně liší od hodnoty stanovené softwarem Cimatron (344,02 mm). Tato rozdílnost je dána způsobem výpočtu délky rozvinuté součásti, kdy je softwarem nejdříve model zjednodušen na „vnější“ či „vnitřní“ plochu a poté je postupně prováděno narovnání, kdežto při výpočtu s použitím postupu dle ČSN 01 7009 se stanovuje poloha přímek (průmětů geometrických míst středů ohybů).

S ohledem na skutečnost, že software bude dále použit pro konstrukci nástroje, je dána přednost hodnotám jím stanoveným.

3.3 Nástřihový plán^{27,29}

Jako nástřihový plán je označováno rozmístění výstřižků na pásu plechu. Z hlediska hospodárnosti je nutné výstřižky rozmístit tak, aby odpad (technologický anebo konstrukční) byl co nejmenší. Optimální rozmístění záleží na tvaru a konstrukci výstřižku a na dodržení zásad konstruování (tj. minimálních vzdáleností mezi jednotlivými výstřižky i od okrajů pásu). Z těchto důvodů je tedy zapotřebí vypracovat a posoudit několik variant nástřihových plánů.

Hospodárnost nástřihu charakterizuje součinitel využití materiálu, který lze zapsat ve tvaru:

$$\eta = \frac{S_o}{S_p} \cdot 100 \text{ [%]} \quad (3.3)$$

kde:

η součinitel využití materiálu [%]

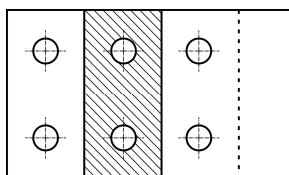
S_o celková plocha výstřižků [mm²]

S_p plocha pásu plechu [mm²]

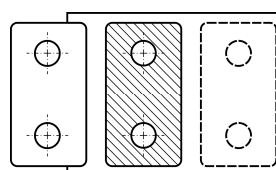
Pro dosažení požadované hospodárnosti může být uspořádání výstřižků na pásu řešeno například následujícími způsoby:

- přímé, vhodné pro součásti pravoúhlého tvaru (obr. 41.a,b),
- nakloněné, vhodné pro součásti ve tvaru „L“ či složitější, a připouštějící nepatrné vady obrysu (obr. 41.c),
- střídavé, vhodné pro součásti ve tvaru „T“, „P“ či složitější, a připouštějící nepatrné vady obrysu (obr. 41.d),
- víceřadé, např. pro součásti pravoúhlé nebo šestiúhelníkové,
- s můstky či bez můstků, jak je znázorněno na obrázku 41a,b.

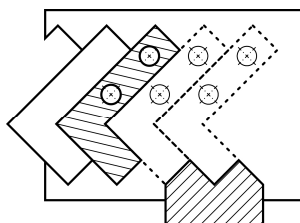
a) přímé – bez můstků



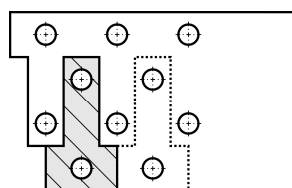
b) přímé – s můstkem



c) nakloněné



d) střídavé

Obr. 41 Varianty nástřihových plánů²⁹.

Pro výrobu zadané součásti je možné využít dvě varianty nástřihových plánů – jednořadé rozmístění na pásu, které je však vzhledem k tvaru výlisku „T“ nehospodárné, nebo střídavé s propojením jednotlivých tvarů šikmými můstkem, znázorněné na obrázku 42a.

Stanovení velikosti přepážky mezi jednotlivými vystřihovanými tvary závisí na tvaru a velikosti výstřižku, tloušťce plechu a rozmístění výstřižků na pásu a lze jej určit jednoduchým způsobem z nomogramu v Příloze 3.

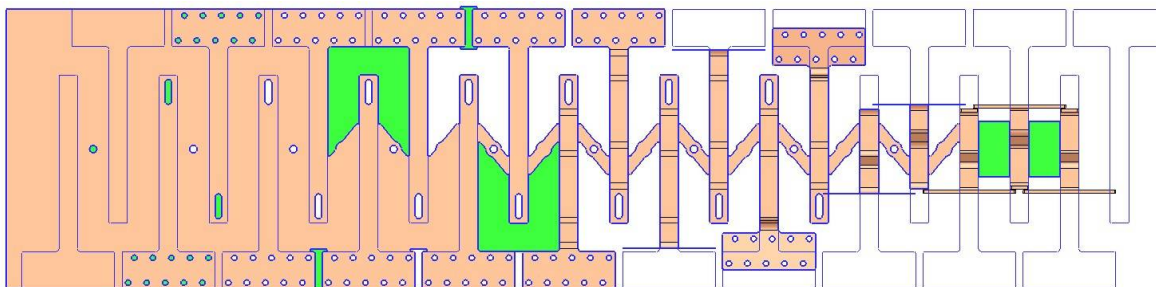
Šířka přepážky odečtená pro zadaný dílec (délka stýkajících se hran = 60 mm) a tloušťku plechu (5 mm) je 4,7 mm. S ohledem na použitý měkkší materiál je vhodné šířku přepážky zvětšit o cca 10 %, výsledná hodnota zaokrouhlená nahoru na celé milimetry je pak 6 mm. V praxi se však doporučuje, aby mezera mezi jednotlivými tvary byla rovna minimálně dvojnásobku tloušťky stříhaného plechu z důvodu snížení namáhání a opotřebení razníků. Šířka přepážky mezi jednotlivými díly byla z tohoto důvodu zvolena 12 mm.

Potřebná šířka plechu je 450 mm jak je zobrazeno na obr. 42b. Okraj plechu bude využit jako horní hrana vyráběného dílce, proto stanovení vzdálenosti od kraje výstřižku není vyžadováno. Podle technických dodacích podmínek⁵¹ plechů je mezní úchylka šířky vztahující se k hranám zvoleného plechu 450^{+3}_0 mm.

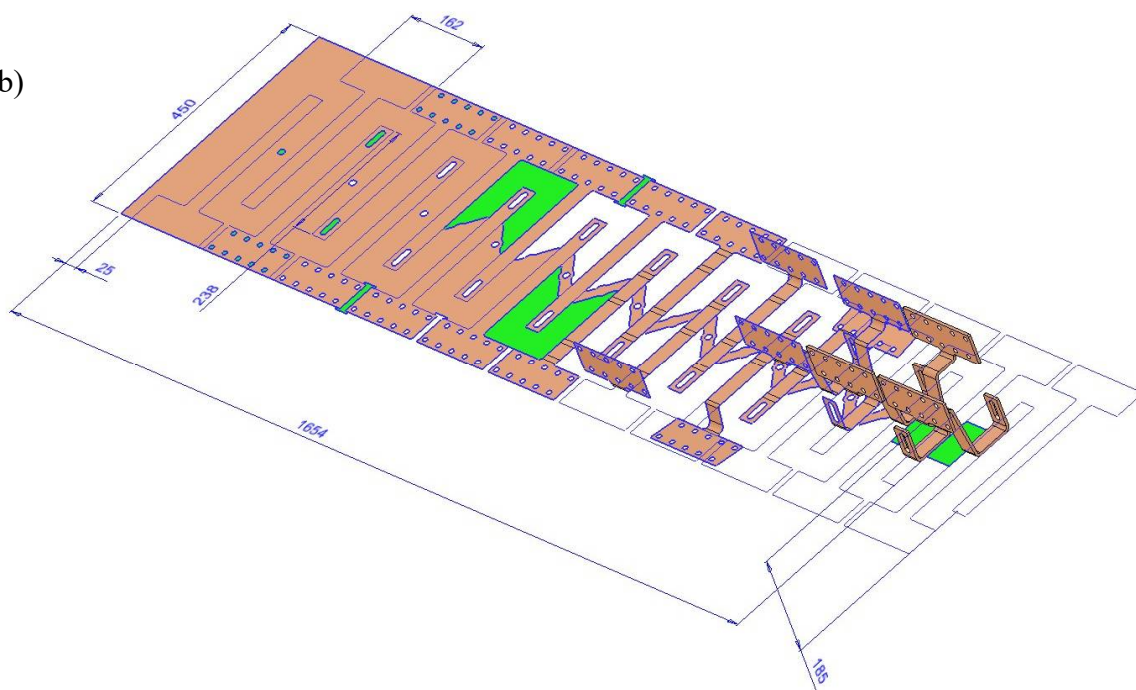
Vzdálenost otvorů navzájem a otvorů od hrany výstřižku by měla být větší nebo rovna 0,8násobku tloušťky plechu, což v případě plechu tloušťky 5 mm představuje vzdálenost 4 mm. Tato technologická podmínka je dodržena.

Délka kroku se stanoví jako součet šířky dílce a šířky přepážky, což v zadaném případě představuje délku 162 mm.

a)



b)



Obr. 42 Nástřihový plán.

Jako výchozí polotovar byl zvolen svitek plechu. Parametry dodávaných svitků oceli byly zjištěny elektronickým dotazem u distribuční a servisní společnosti ArcelorMittal Distribution Czech Republic s. r. o.⁵⁰ a jsou uvedeny následovně:

- Tloušťka materiálu $s = 5 \text{ mm}$.
- Šířka pásu – možnost dodání dle požadavku zákazníka ($b_s = 450 \text{ mm}$).
- Hmotnost dodávaného svitku $m_{sv} = 3\,000 \text{ kg}$.
- Vnitřní průměr svitku 508 mm (materiál navinut na normalizovaný trn).
- Vnější průměr svitku max. 1 500 mm.
- Koeficient pro přepočet $8 \text{ kg} \cdot \text{dm}^{-3}$ (příp. hodnota hustoty oceli $\rho_{oceli} = 7\,850 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$).

Další parametry potřebné pro následující výpočty:

- Krok $k_l = 162$ mm.
- Volný kraj pásu $k_v = 25$ mm.
- Plocha jednoho výstřižku s využitím údaje ze softwaru Cimatron:
 $S_o = 16\,475,931$ mm².
- Předpokládaná výrobní série $Q = 150\,000$ ks/rok.

Výpočet jednotlivých parametrů pro zjištění procentuálního využití svitku plechu se provede s použitím následujících vzorců a pro přehlednost je shrnut v tabulce 6 níže:

Délka svitku plechu při dané hmotnosti a šířce:

$$L_{sv} = \frac{m_{sv}}{b_s \cdot s \cdot \rho_{oceli}} \quad [\text{mm}] \quad (3.4)$$

$$L_{sv} = \frac{3\,000}{450 \cdot 5 \cdot (7,85 \cdot 10^{-6})} \cong 169\,850 \text{ mm}$$

Plocha pásu svitku:

$$S_p = L_{sv} \cdot b_s \quad [\text{mm}^2] \quad (3.5)$$

$$S_p = 169\,850 \cdot 450 \cong 76\,432\,500 \text{ mm}^2$$

Počet výstřižků, které je možno umístit na pás plechu, výsledek zaokrouhlen směrem dolů:

$$n_v = \frac{L_{sv} - k_v}{k_1} \quad [\text{ks}] \quad (3.6)$$

$$n_v = \frac{169\,850 - 25}{162} \cdot 2 \cong 2\,096 \text{ ks}$$

Využití svitku plechu dle vzorce (3.3):

$$\eta = \frac{S_o}{S_p} \cdot 100 = \frac{34\,533\,551,38}{76\,432\,500} \cdot 100 = 45,2 \%$$

Potřebný počet svitků plechu na předpokládanou sérii výroby a jejich využití:

$$n_{sv} = \frac{VS}{n_v} \quad [\text{ks}] \quad (3.7)$$

$$n_{sv} = \frac{150\,000}{2\,096} = 72 \text{ ks}$$

$$\eta_{Celk.} = \frac{VS \cdot S_o}{n_{sv} \cdot S_p} \quad [\text{ks}] \quad (3.8)$$

$$\eta_{Celk.} = \frac{150\,000 \cdot 16\,475,931}{72 \cdot 76\,432\,500} \cdot 100 = 44,9 \%$$

Tab. 6 Parametry svitku a výstřižku; využití svitku.

Vnější průměr svitku (D_{sv}) [mm]	max. 1 500
Vnitřní průměr svitku (d_{sv}) [mm] (normalizovaný trn)	508
Hmotnost svitku (m_{sv}) [kg] (dodávány svitky o hmotnosti cca 3 t)	cca 3 000
Šířka pásu (b_s) [mm]	450
Délka svitku (L_{sv}) [mm]	169 850
Délka kroku (k_l) [mm]	162
Plocha pásu svitku (S_p) [mm ²]	76 432 500
Plocha výstřižku (S_o) [mm ²]	16 475,931
Počet kusů z 1 svitku (n_{ks}) [ks]	2 096
Využití 1 svitku (η) [%]	45,2
Využití všech svitků potřebných pro výrobu 1 série ($\eta_{Celk.}$) [%]	44,9

3.4 Výrobní postup v nástroji

Svítek parametrů dle tabulky 6 bude zaveden do nástroje pomocí podavače skládajícího se z horizontální odvíječky a podávací rovnačky, která jednak zajistí vyrovnaní materiálu, čímž ho zbaví vnitřního napětí (což povede ke snížení opotřebení jednotlivých částí nástroje, zajištění stability celého procesu a kvality konečného výrobku) a zároveň umožní podávání materiálu do nástroje v souladu s taktem lisu. Jednoduchý náčrt postupu je na obrázku 45.

Nástroj je konstruován tak, aby natvarování dílce proběhlo v devíti krocích (viz obr. 42), v nichž budou provedeny následující technologické operace:

1. krok: Zavedení pásu materiálu do nástroje, nastavení jeho výchozí polohy a poté vystřížení otvoru pro hledáček.

První část nástroje (v horizontálním směru) je určena pro střížné operace. Po posunutí pásu o vzdálenost odpovídající velikosti kroku (tj. 162 mm) dochází postupně k obstřihávání samotného dílce tvarovými střížníky, přičemž je zachovávána část pásu plechu, která spojuje sousední dílce a udržuje pás jako jeden celek. Tyto spojovací můstky (někdy nazývané „páteř“) jsou opatřeny otvory sloužícími k ustavení správné pozice pásu pomocí hledáček ukotvených v přídržovači.

2. krok: Střih 20 otvorů $\varnothing 9$ mm a oválných otvorů pro uchycení rámu kolektoru.
3. krok: Prostřížení jedné z přepážek mezi obdélníkovými částmi dílce sloužícími k jeho přišroubování do krokve a prostřížení prostoru ve tvaru „U“ kolem části dílce sloužící k uchycení rámu kolektoru.
4. krok: Prostřížení druhé z přepážek mezi obdélníkovými částmi dílce.

5. krok: Prostřížení druhého prostoru ve tvaru „U“, kdy zároveň dojde k částečnému oddělení obou tvarů, které tak budou připraveny pro následné ohyby.

V druhé polovině nástroje jsou umístěny ohybnice a ohybníky, pomocí kterých je dílec postupně tvarován do konečné podoby.

6. krok: Provedení ohybů obou obdélníkových částí dílce směrem nahoru pomocí ohybových vložek umístěných v přidržovači.
7. krok: Provedení ohybů směrem dolů, a to v části, která slouží jako průvlek pod střešní taškou („krček“ dílce).
8. krok: Provedení ohybů ve tvaru „U“ směrem nahoru – jedno rameno pod úhlem 98° , druhé pod úhlem 90° . Tyto ohyby jsou opět realizovány pomocí ohybových vložek připevněných v přidržovači.

Uvolnění jednotlivých dílců je řešeno odstříhovacími střížníky umístěnými na konci nástroje.

9. krok: Odstřížení můstků („páteře“) a uvolnění dílce, který se tak vlastní vahou překlopí na skluz nástroje a je odbaven do přistavené palety.

4 TECHNOLOGICKÉ VÝPOČTY

4.1 Výpočty pro technologii stříhání^{22,33,34}

Z výpočtů střížných sil se odvíjí konstrukce celého nástroje. Rekapitulace vstupních parametrů materiálu:

Materiál:	ocel jakosti 1.0038
Tloušťka:	$s = 5 \text{ mm}$
Mez pevnosti v tahu:	$R_m = 440 \text{ MPa}$ (průměrná hodnota)
Mez kluzu:	$R_e = 235 \text{ MPa}$
Tažnost:	$A_5 = 26 \%$
Modul pružnosti v tahu:	$E = 210\,000 \text{ MPa}$

4.1.1 Střížná vůle (mezera)^{22,33,34}

Velikost střížné vůle (mezery) lze stanovit buď výpočtovým vztahem (2.1) nebo je možné pro ocel tloušťky 5 mm zvolit univerzální střížnou vůli²² o velikosti 0,5 mm. Střížná mezera je pak polovinou střížné vůle.

$$m = \frac{v}{2} = (1,5c \cdot s - 0,015) \cdot 0,32\sqrt{\tau_s} = (1,5 \cdot 0,01 \cdot 5 - 0,015) \cdot 0,32\sqrt{352} = 0,36 \text{ mm}$$

Pro konstrukci bude použita střížná vůle 0,8 mm jako zaokrouhlený dvojnásobek vypočítané velikosti střížné mezery.

4.1.2 Střížná síla pro jednotlivé střížníky

Výchozím vztahem pro výpočet střížné síly jednotlivých střížníků je vzorec (2.3):

$$F_S = n \cdot O \cdot s \cdot \tau_s; \quad \text{přičemž: } \tau_s = 0,8 \cdot R_m = 0,8 \cdot 440 = 352 \text{ MPa; pro } n \text{ zvolena hodnota } 1,3$$

Velikost střížné síly pro střížník $\varnothing 9 \text{ mm}$ (celkem 20 ks):

$$F_{S1} = n \cdot O \cdot s \cdot \tau_s = 1,3 \cdot (\pi \cdot 9) \cdot 5 \cdot 352 = 64\,691,7 \cdot 20 \cong 1\,293\,834 \text{ N}$$

Velikost střížné síly pro střížník hledáčku $\varnothing 15 \text{ mm}$ (celkem 1 ks):

$$F_{S2} = n \cdot O \cdot s \cdot \tau_s = 1,3 \cdot (\pi \cdot 15) \cdot 5 \cdot 352 \cong 107\,819 \text{ N}$$

Velikost střížné síly pro střížník oválného otvoru $(11 \times 40) \text{ mm}$ (celkem 2 ks):

$$F_{S3} = n \cdot O \cdot s \cdot \tau_s = 1,3 \cdot (\pi \cdot 11 + 2 \cdot 29) \cdot 5 \cdot 352 = 211\,771,6 \cdot 2 \cong 423\,543 \text{ N}$$

Velikost střížné síly pro střížník přepážky cca $(12 \times 68) \text{ mm}$ (celkem 2 ks):

$$F_{S4} = n \cdot O \cdot s \cdot \tau_s = 1,3 \cdot 212,890 \cdot 5 \cdot 352 = 487\,092,32 \cdot 2 \cong 974\,185 \text{ N}$$

Velikost střížné síly pro odstřížení můstku („páteře“) (celkem 2 ks střížníků):

$$F_{S5} = n \cdot O \cdot s \cdot \tau_s = 1,3 \cdot (55,980 \cdot 4) \cdot 5 \cdot 352 \cong 512\,329 \text{ N}$$

Velikost střížné síly pro střížník meztvaru „U“, se zkosenou hranou, rozměru (132 × 176) mm (celkem 2 ks).

$$F_{S6} = n \cdot O \cdot s \cdot \tau_s = 1,3 \cdot 816,995 \cdot 5 \cdot 352 = 1\,869\,284,56 \cdot 2 \cong 3\,738\,569 \text{ N}$$

U střížníků velkých průřezů je možno zkosit jejich hranu pod úhlem 5° a velikost střížné síly vypočítat dle následujícího vzorce³⁴:

$$F_S = l_{st} \cdot s \cdot k_z \cdot \tau_s \text{ [N]} \quad (4.1)$$

kde:

l_{st} délka stříhu [mm]

s tloušťka materiálu [mm]

τ_s napětí ve smyku ($\tau_s = 0,8 \cdot R_m$) [MPa]

k_z koeficient závislý na velikosti zkosení [-];

pro velikost zkosení rovnající se tloušťce materiálu je v rozmezí 0,4 až 0,6

$$F_{S6} = l_{st} \cdot s \cdot k_z \cdot \tau_s = 816,995 \cdot 5 \cdot 0,5 \cdot 352 = 718\,955,6 \cdot 2 \cong 1\,437\,911 \text{ N}$$

Z uvedeného výpočtu vyplývá značné snížení střížné síly při použití střížníku „U“ se zkoseným čelem. Avšak vzhledem k tomu, že není možné zkosení tohoto střížníku provést symetricky, docházelo by k nadměrnému namáhání vodicích částí a tím předčasnému opotřebení, případně k závadám. Proto bude použit střížník s rovným čelem; nicméně snížení velikosti střížné síly může být provedeno odstupňováním jednotlivých střížníků.

Celková velikost střížné síly se určí jako součet jednotlivých střížných sil:

$$F_S = F_{S1} + F_{S2} + F_{S3} + F_{S4} + F_{S5} + F_{S6}$$

$$F_S = 1\,293\,834 + 107\,819 + 423\,543 + 974\,185 + 512\,329 + 3\,738\,569$$

$$F_S = 7\,050\,279 \text{ N}$$

4.1.3 Střížná práce

Velikost střížné práce se určí ze vzorce (2.7) ($k_t = 0,35$)²²:

$$A = \frac{k_t \cdot F_S \cdot s}{1\,000} = \frac{0,35 \cdot 7\,050\,279 \cdot 5}{1\,000} = 12\,337,98825 \cong 12\,338 \text{ J}$$

4.1.4 Kontrolní výpočty^{33,34}

Překročením hranice největšího dovoleného napětí či deformace u součástí namáhaných tlakem anebo ztrátou stability součásti překročením kritické velikosti síly, která na ni působí, by mohlo dojít k poškození nástroje. Z těchto důvodů je nutné provést kontrolní výpočty pro nejtenčí součást nástroje, a to na otlak a vzpěr.

V případě střížníků to znamená, že pokud by bylo napětí na osazené straně střížníku větší jak napětí dovolené, mohlo by dojít k jeho deformaci – vtlačení osazeného konce střížníku do upínací desky. Dále je nutné výpočtem zjistit, zda u střížníku nejmenšího průměru nehrozí ztráta stability či jeho zlomení – délka nejtenčího střížníku musí být menší než výpočtem určená délka kritická.

- Kontrola na otlak

Výpočet velikosti dosedací plochy osazení střížníku pro prostřížení otvorů v obdélníkové části dílce $\varnothing 9$ mm (\varnothing osazení 17 mm):

$$S_s = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \text{ [mm}^2\text{]} \quad (4.2)$$

kde:

S_s dosedací plocha [mm²]

d průměr osazení střížníku [mm]

$$S_s = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 17^2}{4} \cong 227 \text{ mm}^2$$

Napětí mezi dosedací plochou střížníku a deskou:

$$\sigma_s = \frac{F_{s1}}{S_{s1}} \text{ [MPa]} \quad (4.3)$$

kde:

F_{s1} střížná síla na střížníku pro otvor $\varnothing 9$ mm [N]

S_{s1} dosedací plocha osazení střížníku [mm²]

$$\sigma_{s1} = \frac{64\,691,7}{227} \cong 285 \text{ MPa}$$

Koeficient bezpečnosti (obvykle se volí v rozmezí 1,5 až 5; zvoleno $k_{min.} = 2$):

$$k_B = \frac{R_e}{\sigma_{s1}} \text{ [-]} \quad (4.4)$$

kde:

R_e mez kluzu oceli jakosti 1.0038 [MPa]

$$k = \frac{235}{285} \cong 0,8 \text{ [-]}$$

Závěr:

Vypočítaná hodnota koeficientu bezpečnosti je nižší než hodnota zvolená, proto je nutné mezi upínací a kotevní desku vložit opěrnou desku z kalené oceli.

- Kontrola na vzpěr

Výpočet kritické hodnoty délky nejtenčího střížníku (\varnothing 9 mm) podle vzorce pro vedený střížník:

$$l_{krit} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi \cdot E \cdot I}{k \cdot d_{st} \cdot s \cdot \tau_s}} \quad [\text{mm}] \quad (4.5)$$

kde:

I kvadratický moment setrvačnosti kruhového průřezu [mm^4]

$$I = \frac{\pi \cdot d^4}{64} \quad [\text{mm}^4] \quad (4.6)$$

E modul pružnosti oceli 1.0038 [MPa]

k koeficient bezpečnosti (volí se v rozmezí 1,5 až 2)

d_{st} průměr střížníku [mm]

s tloušťka stříhaného materiálu [mm]

τ_s napětí ve smyku ($\tau_s = 0,8 \cdot R_m$) [MPa]

$$l_{krit} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi \cdot E \cdot I}{k \cdot d \cdot s \cdot \tau_s}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi \cdot 210\,000 \cdot 322,1}{1,75 \cdot 9 \cdot 5 \cdot 352}} \cong 175 \quad [\text{mm}]$$

$$I = \frac{\pi \cdot 9^4}{64} = 322,1 \quad [\text{mm}^4]$$

Závěr:

Jak z výše uvedeného výpočtu vyplývá, střížník o průměru 9 mm by neměl být delší než 175 mm. Pokud by bylo potřebné navrhnout délku střížníku větší než je jeho vypočítaná kritická délka, musel by se použít střížník osazený.

4.2 Výpočty pro technologii ohýbání

4.2.1 Ohybová vůle^{31,36}

Stejně jako v případě technologie stříhání, i u technologie ohýbání je nutno určit ohybovou vůli, která ovlivňuje velikost ohybové síly a eliminuje případný negativní vliv ohybu na materiál (např. jeho ztenčení).

V případě ohybu do tvaru „V“ je velikost ohybové vůle stejná jako tloušťka ohýbaného materiálu.

V případě ohybu do tvaru „U“ je nutno brát v úvahu tloušťku, výrobní toleranci materiálu a délku ramen ohýbané součásti. Ohybová vůle se pak určí podle vzorce:

$$v_o = s \text{ až } s_{max} + c_1 \cdot s \quad [\text{mm}] \quad (4.7)$$

kde:

v_o vůle mezi pevnou a pohyblivou čelistí na jednu stranu [mm]

(pro přibližné stanovení vůle³⁶ platí u oceli $v = 1,05s$ až $1,15s$)

c_I součinitel vyjadřující vliv tření ohýbané součásti o pevnou čelist s ohledem na délku ramene [-] (viz tab. 7)

s tloušťka materiálu [mm]

s_{max} tloušťka materiálu včetně horní výrobní úchyly⁵¹ [mm] ($\pm 0,24$ mm)

Tab. 7 Zaoblení a hloubka pevné čelisti³⁶.

Délka ramene a_o [mm]	Tloušťka materiálu s (4 až 7) mm [mm]		
	l_o	r_m	c_I
do 10			0,06
do 20	20	8	0,06
do 35	25	8	0,08
do 50	30	10	0,1
do 75	35	12	0,1
do 100	40	15	0,1
do 150	50	20	0,15

Ohybová vůle, stanovená dle vzorce (4.8):

$$v_o = s \text{ až } s_{max} + c_1 \cdot s = 5,24 + 0,1 \cdot 5 = 5,74 \cong 5,8 \text{ mm}$$

4.2.2 Ohýbací síla a práce

Pro ohyb do tvaru (poloviny) „U“ se síly potřebné k provedení jednotlivých ohybů vypočítají dle vztahu (2.18):

$$F_{oU1} = \frac{0,4 \cdot R_m \cdot s^2 \cdot b}{l_m} = \frac{0,4 \cdot 440 \cdot 5^2 \cdot 30}{23} \cdot 0,5 \cdot 2 \cong 5\,739 \text{ N}$$

$$l_{m1} = r_m + 1,2s + r_p = 12 + 1,2 \cdot 5 + 5 = 23 \text{ mm}$$

$$F_{oU2} = \frac{0,4 \cdot R_m \cdot s^2 \cdot b}{l_m} = \frac{0,4 \cdot 440 \cdot 5^2 \cdot 30}{21} \cdot 0,5 \cdot 2 \cong 6\,286 \text{ N}$$

$$l_{m2} = r_m + 1,2s + r_p = 10 + 1,2 \cdot 5 + 5 = 21 \text{ mm}$$

$$F_{oU3} = \frac{0,4 \cdot 440 \cdot 5^2 \cdot 30}{31} \cdot 2 \cong 8\,516 \text{ N}$$

$$l_{m3} = 20 + 1,2 \cdot 5 + 5 = 31 \text{ mm}$$

Celková ohýbací síla potřebná k natvarování součásti se stanoví součtem jejích dílčích složek:

$$F_O = 5\,739 + 6\,286 + 8\,516 = 20\,541 \text{ N}$$

Velikost práce vykonané při ohýbání se vypočítá ze vztahu (2.22)

$$A_{cU} = m_s \cdot \frac{F_{cU} \cdot h_u}{1000} = \frac{1}{6} \cdot \frac{20\,541 \cdot 80}{1000} \cong 274 \text{ J}$$

$$h_u = l_o + r_p + r_m + s = 50 + 5 + 20 + 5 = 80 \text{ mm}$$

Pozn.: Pro zaoblení funkční části ohybníku byla použita hodnota $r_p = 10 \text{ mm}$, hodnoty r_m a l_o dle tab. 7.

4.3 Výrobní tolerance funkčních částí nástroje

Ve stříhadlech s vodicími stojánky a s přidržovači lze dosáhnout přesnosti IT 11 až IT 9, které se používají v přesném a všeobecném strojírenství.

Drsnost povrchu, vyjádřená průměrnou aritmetickou úchylkou profilu (Ra), při zajištění dobrých podmínek stříhu bývá:

- při vystřihování $Ra = (6,3 \text{ až } 3,2) \mu\text{m}$
- při děrování $Ra = (6,3 \text{ až } 2,5) \mu\text{m}$

Protože nejsou předepsány tolerance rozměrů zadané součásti, bude tolerování rozměrů provedeno podle ČSN ISO 2768-1, třídy přesnosti „m“ (střední)³⁵.

Tab. 8 Mezní úchylky délkových rozměrů kromě zkosení hran³⁵.

Mezní úchylky pro základní rozsah rozměrů [mm]				
přes 3 do 6	přes 6 do 30	přes 30 do 60	přes 60 do 120	přes 120 do 400
±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8

Tab. 9 Mezní úchylky zkosení a zaoblení hran³⁵.

Mezní úchylky pro základní rozsah rozměrů [mm]		
0,5 do 3	přes 3 do 6	přes 6
±0,2	±0,5	±1

Tab. 10 Mezní úchytky úhlových rozměrů³⁵.

Mezní úchytky úhlu pro rozsah délek jeho kratšího ramene [mm]		
do 10	přes 10 do 50	přes 50 do 120
$\pm 1^\circ$	$\pm 0^\circ 30'$	$\pm 0^\circ 20'$

4.3.1 Výrobní tolerance střížníku a střížnice při děrování

Výpočty základních rozměrů střížníků a otvorů ve střížnici při děrování budou provedeny v souladu s ČSN 22 6015²².

Při děrování jsou rozměry otvoru závislé na skutečných rozměrech střížníku. Opatření střížníku je příčinou zmenšování děrovaného otvoru. Je proto účelné zvětšit část tolerance (TS) s ohledem na jeho postupné opotřebovávání.

$$RAD = \left(JR + \frac{P}{2}\right) - TA \quad (4.8)$$

$$RED = \left(JR + \frac{P}{2} + v\right) + TE \quad (4.9)$$

kde:

RAD rozměr střížníku při děrování [mm]

RED rozměr střížnice při děrování [mm]

JR jmenovitý rozměr výrobku [mm]

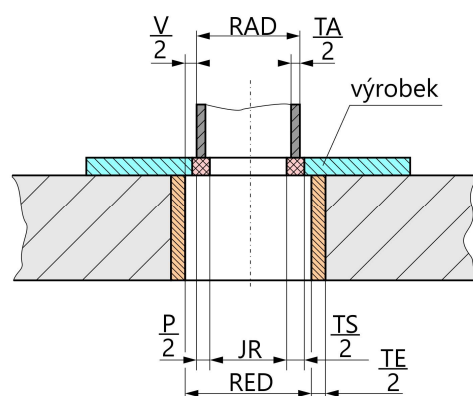
v střížná vůle [mm]

TS tolerance jmenovitého rozměru [mm]

P přípustná míra opotřebení [mm]

TE výrobní tolerance střížnice [mm]

TA výrobní tolerance střížníku [mm]

Obr. 43 Výrobní tolerance při děrování²².

Výpočet (s využitím vzorců 4.8 a 4.9) – pro **střížník ø 15 mm**:

$TS = \pm 0,2$ mm; $v = 0,8$ mm; $P = 0,310$ mm; $TE = 0,120$ mm; $TA = 0,074$ mm

$$RAD = \left(JR + \frac{P}{2}\right) - TA = \left(15 + \frac{0,310}{2}\right) - 0,074 = 15,155_{-0,074}^{0} \text{ mm}$$

$$RED = \left(JR + \frac{P}{2} + v\right) + TE = \left(15 + \frac{0,310}{2} + 0,8\right) + 0,120 = 15,955_{0}^{+0,120} \text{ mm}$$

Výpočet (s využitím vzorců 4.8 a 4.9) – pro **střížník ø 9 mm**:

$$TS = \pm 0,2 \text{ mm}; v = 0,8 \text{ mm}; P = 0,310 \text{ mm}; TE = 0,120 \text{ mm}; TA = 0,074 \text{ mm}$$

$$RAD = \left(JR + \frac{P}{2}\right) - TA = \left(9 + \frac{0,310}{2}\right) - 0,074 = \mathbf{9,155_{-0,074}^0 \text{ mm}}$$

$$RED = \left(JR + \frac{P}{2} + v\right) + TE = \left(9 + \frac{0,310}{2} + 0,8\right) + 0,120 = \mathbf{9,955_0^{+0,120} \text{ mm}}$$

Výpočet (s využitím vzorců 4.8 a 4.9) – pro **střížník rozměru (11 × 40) mm**:

$$11 \text{ mm: } TS = \pm 0,2 \text{ mm}; v = 0,8 \text{ mm}; P = 0,310 \text{ mm}; TE = 0,120 \text{ mm}; TA = 0,074 \text{ mm}$$

$$RAD = \left(JR + \frac{P}{2}\right) - TA = \left(11 + \frac{0,310}{2}\right) - 0,074 = \mathbf{11,155_{-0,074}^0 \text{ mm}}$$

$$RED = \left(JR + \frac{P}{2} + v\right) + TE = \left(11 + \frac{0,310}{2} + 0,8\right) + 0,120 = \mathbf{11,955_0^{+0,120} \text{ mm}}$$

$$40 \text{ mm: } TS = \pm 0,5 \text{ mm}; v = 0,8 \text{ mm}; P = 0,760 \text{ mm}; TE = 0,290 \text{ mm}; TA = 0,185 \text{ mm}$$

$$RAD = \left(JR + \frac{P}{2}\right) - TA = \left(40 + \frac{0,760}{2}\right) - 0,185 = \mathbf{40,380_{-0,185}^0 \text{ mm}}$$

$$RED = \left(JR + \frac{P}{2} + v\right) + TE = \left(40 + \frac{0,760}{2} + 0,8\right) + 0,290 = \mathbf{41,180_0^{+0,290} \text{ mm}}$$

Výpočet (s využitím vzorců 4.8 a 4.9) – pro **střížník „U“ rozměru (132 × 176) mm**:

$$132 \text{ mm: } TS = \pm 0,8 \text{ mm}; v = 0,8 \text{ mm}; P = 1,200 \text{ mm}; TE = 0,400 \text{ mm}; TA = 0,250 \text{ mm}$$

$$RAD = \left(JR + \frac{P}{2}\right) - TA = \left(132 + \frac{1,200}{2}\right) - 0,250 = \mathbf{132,6_{-0,250}^0 \text{ mm}}$$

$$RED = \left(JR + \frac{P}{2} + v\right) + TE = \left(132 + \frac{1,200}{2} + 0,8\right) + 0,400 = \mathbf{133,4_0^{+0,400} \text{ mm}}$$

$$176 \text{ mm: } TS = \pm 0,8 \text{ mm}; v = 0,8 \text{ mm}; P = 0,760 \text{ mm}; TE = 0,290 \text{ mm}; TA = 0,185 \text{ mm}$$

$$RAD = \left(JR + \frac{P}{2}\right) - TA = \left(176 + \frac{1,200}{2}\right) - 0,250 = \mathbf{176,6_{-0,250}^0 \text{ mm}}$$

$$RED = \left(JR + \frac{P}{2} + v\right) + TE = \left(176 + \frac{1,200}{2} + 0,8\right) + 0,400 = \mathbf{177,4_0^{+0,400} \text{ mm}}$$

$$51 \text{ mm: } TS = \pm 0,3 \text{ mm}; v = 0,8 \text{ mm}; P = 0,460 \text{ mm}; TE = 0,190 \text{ mm}; TA = 0,120 \text{ mm}$$

$$RAD = \left(JR + \frac{P}{2}\right) - TA = \left(51 + \frac{0,460}{2}\right) - 0,120 = \mathbf{51,23_{-0,120}^0 \text{ mm}}$$

$$RED = \left(JR + \frac{P}{2} + v\right) + TE = \left(51 + \frac{0,460}{2} + 0,8\right) + 0,190 = \mathbf{52,03_0^{+0,190} \text{ mm}}$$

Výpočet (s využitím vzorců 4.8 a 4.9) – pro **střížník rozměru (51 × 90) mm**:

51 mm: $TS = \pm 0,3$ mm; $v = 0,8$ mm; $P = 0,460$ mm; $TE = 0,190$ mm; $TA = 0,120$ mm

$$RAD = \left(JR + \frac{P}{2}\right) - TA = \left(51 + \frac{0,460}{2}\right) - 0,120 = \mathbf{51,23_{-0,120}^0 \text{ mm}}$$

$$RED = \left(JR + \frac{P}{2} + v\right) + TE = \left(51 + \frac{0,460}{2} + 0,8\right) + 0,190 = \mathbf{52,03_0^{+0,190} \text{ mm}}$$

90 mm: $TS = \pm 0,5$ mm; $v = 0,8$ mm; $P = 0,760$ mm; $TE = 0,290$ mm; $TA = 0,185$ mm

$$RAD = \left(JR + \frac{P}{2}\right) - TA = \left(90 + \frac{0,760}{2}\right) - 0,185 = \mathbf{90,38_{-0,185}^0 \text{ mm}}$$

$$RED = \left(JR + \frac{P}{2} + v\right) + TE = \left(90 + \frac{0,760}{2} + 0,8\right) + 0,290 = \mathbf{91,18_0^{+0,290} \text{ mm}}$$

Výpočet (s využitím vzorců 4.8 a 4.9) – pro **střížník rozměru (12 × 68) mm**:

12 mm: $TS = \pm 0,2$ mm; $v = 0,8$ mm; $P = 0,310$ mm; $TE = 0,120$ mm; $TA = 0,074$ mm

$$RAD = \left(JR + \frac{P}{2}\right) - TA = \left(12 + \frac{0,310}{2}\right) - 0,074 = \mathbf{12,155_{-0,120}^0 \text{ mm}}$$

$$RED = \left(JR + \frac{P}{2} + v\right) + TE = \left(12 + \frac{0,310}{2} + 0,8\right) + 0,120 = \mathbf{12,955_0^{+0,120} \text{ mm}}$$

68 mm: $TS = \pm 0,5$ mm; $v = 0,8$ mm; $P = 0,760$ mm; $TE = 0,290$ mm; $TA = 0,185$ mm

$$RAD = \left(JR + \frac{P}{2}\right) - TA = \left(68 + \frac{0,760}{2}\right) - 0,290 = \mathbf{68,38_{-0,290}^0 \text{ mm}}$$

$$RED = \left(JR + \frac{P}{2} + v\right) + TE = \left(68 + \frac{0,760}{2} + 0,8\right) + 0,185 = \mathbf{69,18_0^{+0,185} \text{ mm}}$$

Tab. 11 Souhrnná tabulka výrobních tolerancí střížníků a střížnic.

Jmenovitý rozměr [mm]	Výrobní tolerance střížníku [mm]	Výrobní tolerance střížnice [mm]
ø 9	$9,155_{-0,074}^0$	$9,955_0^{+0,120}$
ø 15	$15,155_{-0,074}^0$	$15,955_0^{+0,120}$
(11 × 40)	$(11,155_{-0,074}^0 \times 40,380_{-0,185}^0)$	$(11,955_0^{+0,120} \times 41,180_0^{+0,290})$
(132 × 176)	$132,6_{-0,250}^0$; $176,0_{-0,250}^0$; $51,23_{-0,120}^0$	$133,4_0^{+0,400}$; $177,4_0^{+0,400}$; $52,03_0^{+0,190}$
(51 × 90)	$(51,23_{-0,120}^0 \times 90,38_{-0,185}^0)$	$(52,03_0^{+0,190} \times 91,18_0^{+0,290})$
(12 × 68)	$(12,155_{-0,120}^0 \times 68,38_{-0,290}^0)$	$(12,955_0^{+0,120} \times 69,18_0^{+0,185})$

5 NÁVRH TVÁŘECÍHO STROJE

Pro realizaci procesu tváření je zapotřebí stroj, který vyvodí sílu potřebou k přetvoření vstupního polotovaru na požadovaný dílec. Zároveň je však zapotřebí, aby tento stroj působil na materiál „klidnou“ silou – tuto podmínku splňují lisy, které lze podle formy použité energie rozdělit na:

- silové, mezi které náleží hydraulické lisy využívající převážně energii potenciální a u kterých je síla na beranu konstantní a nezávislá na dráze beranu;
- zdvihové (mechanické), využívající jak energii kinetickou, tak potenciální. Příkladem je klikový lis, u kterého je síla a rychlost beranu funkcí dráhy beranu.

Výhodou mechanických lisů je jejich jednoduchost. Nevýhodou možné přetížení stroje z důvodu možnosti odebrání maximální tvářecí síly až těsně před dolní úvratí, nevýhodný průběh rychlosti a tváření velkou silou po delší dráze.

V porovnání s mechanickými lisy mezi hlavní výhody hydraulických lisů patří možnost plynulého regulování rychlosti, možnost odebrání maximální tvářecí síly v libovolné výšce zdvihu, možnost plynulé regulace rychlosti. Nevýhodou pak je pomalejší chod beranu a tím menší výrobnost, složitější údržba a vyšší pořizovací cena⁵⁸.

5.1 Výpočet celkové síly

Síla potřebná pro stříh i ohyb je dána součtem dílčích sil (F_S , F_O). K této hodnotě je však zapotřebí připočítat i sílu plynových pružin (F_{pr}), zvedajících desku s pásem plechu (6 ks) a pružin potřebných k realizaci ohybu přidržovačem (8 ks). Tato síla se určí následujícím výpočtem:

$$F_{pr} = (3\,500 \cdot 6) + (7\,500 \cdot 8) = 81\,000 \text{ N}$$

$$F_C = F_S + F_O + F_{pr} = 7\,050\,279 + 20\,541 + 81\,000 = 7\,151\,820 \text{ N}$$

Celková síla pak dána součtem dílčích sil (F_S , F_O a F_{pr}) a ve výsledku představuje hodnotu 7 152 kN. Tento údaj je následně vstupním parametrem pro výběr vhodného lisu.

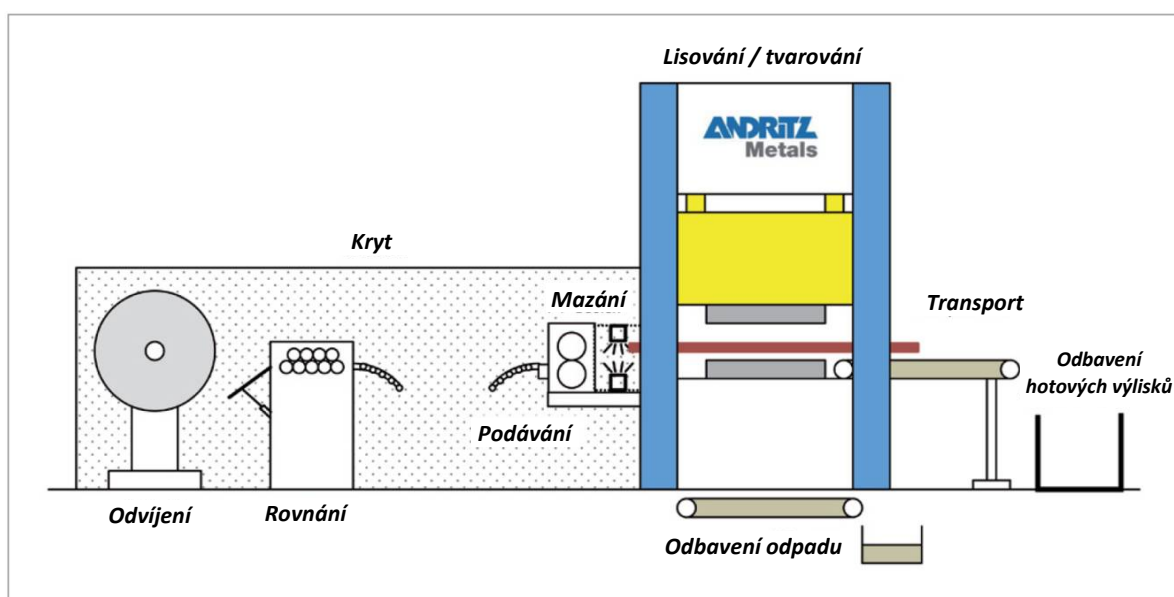
5.2 Návrh typu stroje⁵⁶

Pro výrobu zadaného dílce byl, na základě výše uvedené tvářecí síly, zvolen lis výrobce ANDRITZ, typ Kaiser 8000 (jmenovitá síla 8 000 kN). Schématický náčrt procesu tváření pomocí tohoto lisu je znázorněn na obrázku 46.

Tento lis je vhodný zejména z důvodu situování odpadní šachty (propadu) pod celou délkou tvářecího nástroje a možnosti libovolného nastavení sevřené výšky v daném rozpětí. Upnutí nástroje je realizováno pomocí T-drážek.

Technické parametry lisu jsou uvedeny jak následuje⁵⁷, náčrt postupu lisování (průchod materiálu jednotlivými výrobními etapami) je zobrazen na obrázku 45:

Druh pohonu lisu:	Servo pohon
Používané nástroje:	Postupové; transferové
Maximální počet zdvihů	50 min ⁻¹
Minimální počet zdvihů	1 min ⁻¹
Maximální sevřená výška	1 100 mm
Minimální sevřená výška	700 mm
Šířka průchodu pro materiál	1 910 mm
Rozměry stolu	(5 000 × 2 000) mm
Upínací drážky beranu	T28 H8 DIN 650
Tloušťka dolní upínací desky	80 mm
Tloušťka horní upínací desky	80 mm
Rozměry rozpadu ve stolu	(4 200 × 500) mm



Obr. 45 Schématický nákres postupu lisování⁵⁷.

6 NÁVRH NÁSTROJE

6.1 Software

Pro konstrukci postupového nástroje byl využit software Cimatron vyvíjený v Izraeli, jehož výhradním distributorem v České republice je společnost technology-support s.r.o.

CAD/CAM systém Cimatron je cíleně zaměřen na návrh a výrobu forem, postupových lisovacích nástrojů a zápusťek. K dispozici jsou jednotlivé moduly pro:

- import dat z jiných formátů,
- analýzu dílu,
- všeobecnou konstrukci jak dílu, tak sestavy – tento modul lze volitelně rozšířit o další nastavení určené pro:
 - tvorbu návrhu nástřihového plánu,
 - návrh konstrukce lisovacího nástroje,
 - analýzu zaformování dílu,
 - návrh konstrukce vstřikovací formy,
 - návrh konstrukce elektrod,
- jednoduché provedení úpravy již zhotovené formy podle nových požadavků,
- tvorbu výkresové dokumentace,
- tvorbu cenové nabídky podle použitých komponent, a
- frézování od 2,5 os do 5 os kontinuálně.

Výhodou tohoto softwaru je možnost práce jak v plochách, tak v objemech (tzv. „hybridní modelář“), což v kombinaci a s využitím výše uvedených nástaveb poskytuje jeho uživateli ucelený soubor pracovních nástrojů, které mohou přispět k usnadnění práce a tím i ke zvýšení produktivity. Software Cimatron tak nabízí komplexní řešení celého procesu, tedy od návrhu až po vlastní výrobu.

Pro účely diplomové práce byla využita verze 12, v současnosti se distribuuje verze 13.

Pro tvorbu výkresové dokumentace k této diplomové práci byly použity šablony přednastavené v tomto softwaru.



Obr. 46 Logo společnosti technology-support s.r.o.⁶⁰.



Obr. 47 Cimatron – logo⁶⁰.

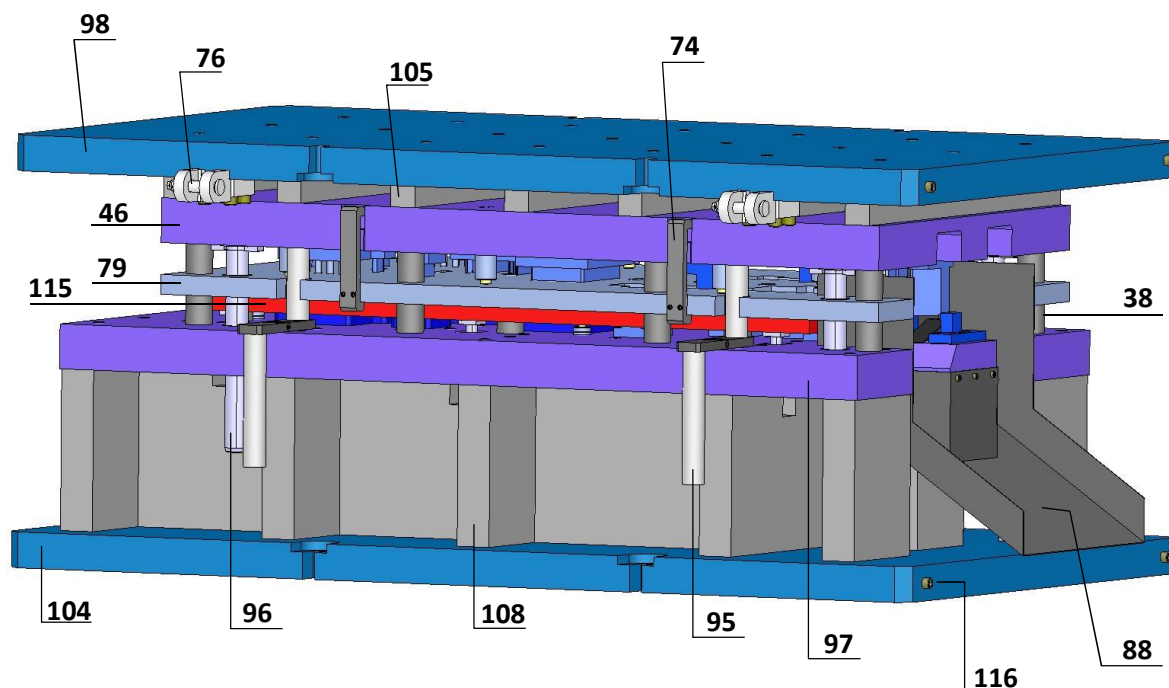
Spolupráce se společností technology-support byla pro mě velkým přínosem z hlediska profesního a za veškeré konzultace poskytnuté jak s profesionálním, tak i lidským přístupem ještě jednou děkuji.

6.2 Popis a funkce nástroje

Sdružený postupový nástroj je konstrukčně zpracován tak, aby v průběhu zpracování polotovaru bylo dosaženo požadovaného tvaru lisované součásti včetně dané rozměrové přesnosti. Přetvoření polotovaru v hotový dílec je provedeno v devíti krocích.

Při konstrukci bylo využito normalizovaných dílů z dostupných katalogů. V případě šroubových spojení byl tam, kde to bylo možné, použit jednotný spojovací materiál.

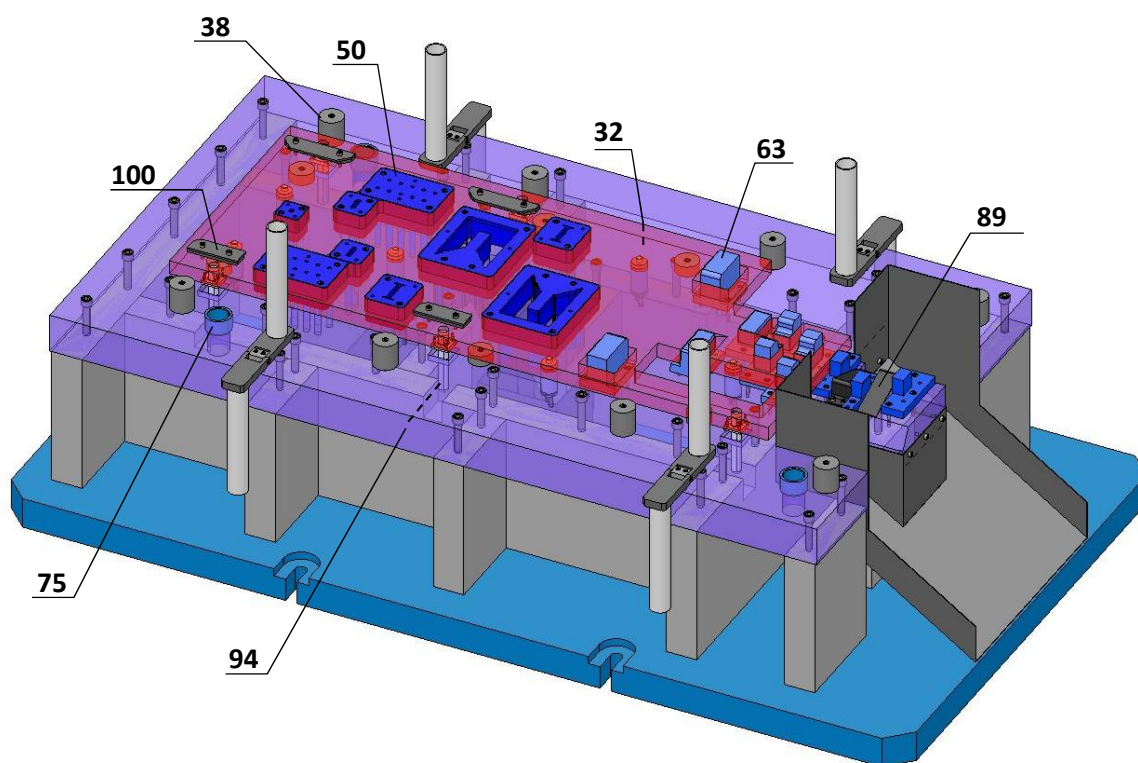
Na obrázku 48 je celkový pohled na 3D model sdruženého postupového nástroje a jeho stručný popis, na dalších obrázcích 49 a 50 jsou vyobrazeny a popsány jeho části včetně popisu funkce nástroje jako celku.



Legenda:

98	Upínací deska	76	Přenášecí čep
46	Kotevní deska	74	Omezovač zdvihu
79	Přidržovač	105	Žebra horní
115	Zvedací deska	108	Žebra dolní
97	Střížnice	88	Skluz
104	Základová deska	38	Dosedka
96	Vodící sloupek	116	Šrouby pro připevnění fixačního plechu
95	Skladovací doraz		

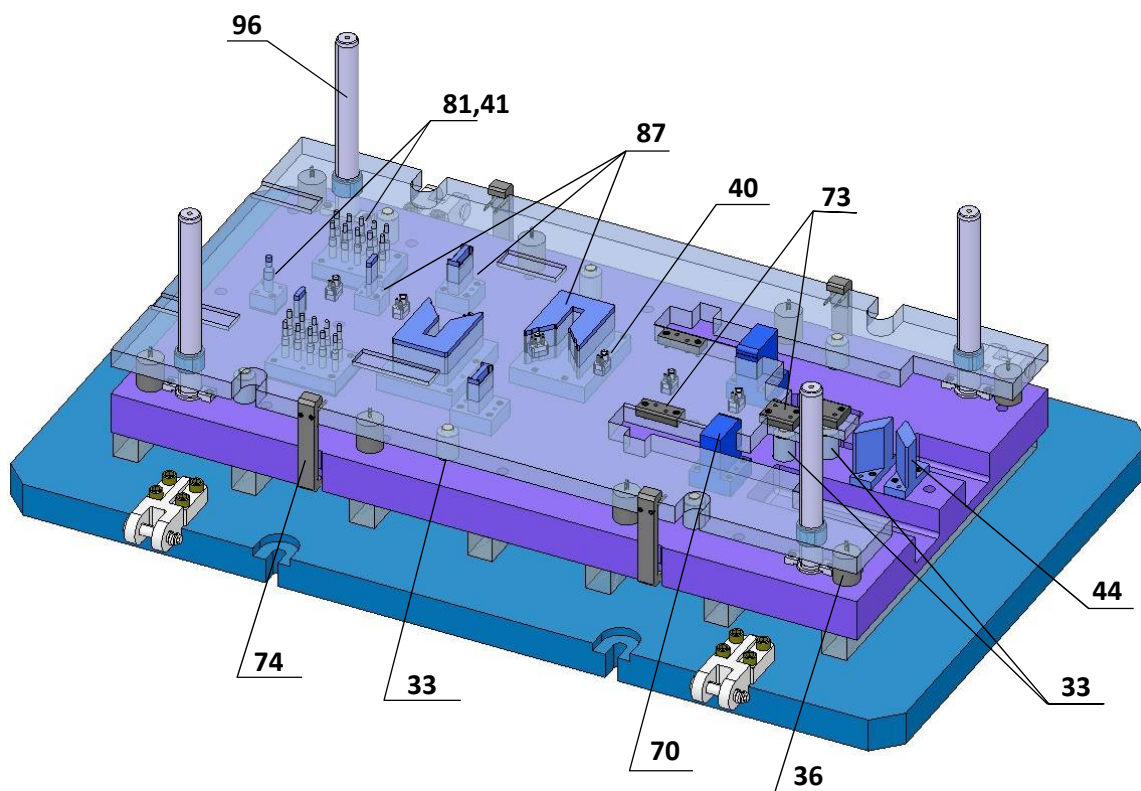
Obr. 48 Sdružený postupový nástroj.



Legenda:

- | | |
|-----|-------------------------|
| 38 | Dosedka |
| 100 | Vodicí lišta |
| 75 | Pouzdro |
| 32 | Plynová pružina 3 500 N |
| 50 | Střížná matrice |
| 63 | Ohybnice |
| 89 | Skluz odpadu |
| 94 | Sloupek |

Obr. 49 Dolní část sdruženého postupového nástroje.



Legenda:

- 96 Vodící sloupek
- 74 Omezovač zdvihu
- 36 Dosedka
- 40 Hledáček s pružinovými odlepovacími elementy
- 73 Ohybové vložky
- 33 Plynová pružina 7 500 N
- 81,41 Střížníky na kalené podložce
- 87 Střížník s přírubou
- 70 Ohybník
- 44 Odstřihovací střížník můstku („páteře“)

Obr. 50 Horní část sdruženého postupového nástroje.

Popis funkce nástroje:

Pás plechu je nasunut na plochu zvedací desky (115) a ustaven do výchozí polohy mezi vodicí lišty (100). Nejdříve je vystřižnut otvor pro hledáček (40), který v následných krocích slouží k ustavení správné pozice pásu. Při posunu pásu plechu nástrojem o jednotlivé vzdálenosti odpovídající velikosti kroku dochází k postupnému obstřihování tvaru a jeho následnému ohýbání do výsledné podoby. Zdvih pásu plechu před jeho posunutím o daný krok je realizován pomocí zvedací desky (115), která je propojena se střížnicí (97) sloupky (94), zajišťujícími přesné vedení obou desek.

V rozích přídržovače (79) a ve střížnici (97) jsou nalisována pouzdra (75), která jsou osazena vodicími sloupky (96) připevněnými ke kotevní desce (46) a sloužícími k přesnému vedení horní části nástroje vůči dolní.

Na konci nástroje je umístěn skluz (88) pro odbavení hotových výlisků. Na tento skluz je směřován i odpad vzniklý odstřížením můstků („páteře“) (89). Předpokládá se ruční třídění.

Dále lze navázat na kapitolu 3.4 „Výrobní postup v nástroji“ a funkci nástroje ve vertikálním směru popsat následovně (předpokládá se, že pás plechu je po celé délce nástroje a tudíž všechny technologické operace probíhají naráz):

- Vlivem síly vyvinuté beranem lisu se začnou upínací deska (98), kotevní deska (46) se všemi komponentami v ní upnutými a přídržovač (79) pohybovat směrem dolů.
- V první fázi tohoto pohybu je provedeno ustavení správné pozice pásu pomocí hledáček (40), připevněných v přídržovači (79). Pro eliminaci přichycení plechu na hledáček (40) jsou použity pružinové odlepací elementy.
- Po dosednutí přídržovače (79) na zvedací desku (115) dojde k sevření plechu a následně započne realizace ohybů směrem nahoru.
- V poslední fázi pohybu horní části nástroje směrem dolů, po dosednutí zvedací desky (115) na dosedky (38), je započat proces stříhu a ohyb směrem dolů.

Aby bylo možné pomocí přídržovače (79) realizovat ohyby směrem nahoru, je osazen ohybovými vložkami (73) a do kotevní desky (46) jsou upevněny plynové pružiny (33) o dvojnásobné síle než pružiny (32) působící v opačném směru – plynové pružiny v dolní části slouží k zvednutí pásu plechu nad ohybnice (63) tak, aby se zamezilo kolizi mezi posunovaným plechem a těmito částmi nástroje.

Zdvih přídržovače (79) je omezen pomocí omezovače zdvihu (74) tak, aby nedošlo při pohybu směrem nahoru k vysunutí činných částí z přídržovače (79).

Nástroj je osazen čepy (76) sloužícími pro manipulaci a skladovací dorazy (95), které lze použít jako bezpečnostní pojistku v případech, kdy je zapotřebí provést opravu, případně při manipulaci anebo skladování jako vymezovací element bránící stlačování plynových pružin. V bočních plochách upínací (98) a základové (104) desky jsou umístěny šrouby (116) sloužící k připevnění pásů plechu sloužících k fixaci horní s dolní částí při přepravě nástroje.

Vzdálenosti mezi jednotlivými deskami jsou v sevřeném stavu nástroje vymezeny dosedkami (36, 38).

Meziprostor mezi upínací (98) a kotevní (46) deskou je osazen příčnými žebry (105) pro možnost úpravy sevřené výšky nástroje vůči použitému lisu. Žebra (108) v dolní části slouží nejen pro úpravu sevřené výšky, ale zároveň zpevňují celou konstrukci nástroje zejména v prostoru, kde lze očekávat působení největších střížných a ohybových sil. Dále pak slouží k vymezení prostoru, ve kterém jsou umístěny plechy pro skluzu odpadu ze střížných operací.

Základová (104) a upínací (98) deska jsou opatřeny drážkami pro uchycení nástroje do T-drážek lisu.

Pro výrobu jednotlivých komponent (střížnic, střížníků, ohybnic a ohybníků) je možno využít CNC obráběcích center a CNC elektroerozivních drátových řezaček.

7 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ^{54,55}

Zadaný dílec byl uzpůsoben v souladu s obecnými pravidly technologičnosti konstrukce tak, aby jeho použitelnost byla univerzální při zachování plné funkčnosti a stability.

Volba vstupního materiálu byla provedena ve vazbě na optimalizaci nákladů spojených jednak s výrobou dílce a s ohledem na jeho následné použití a také s ohledem na minimalizaci nákladů spojených s výrobou postupového sdruženého nástroje. Zároveň je však zapotřebí zohlednit i postupné opotřebovávání jeho funkčních částí a na to navazující servisní činnosti jako jsou broušení, výměny či opravy těchto činných prvků nástroje.

V této předběžné kalkulaci není uvažována pořizovací cena lisu, ani přídavných zařízení jako jsou odvíječka, rovnačka a podavač. Vzhledem k tomu, že některé částky potřebné pro výpočet bylo možné určit pouze odhadem, mají výsledné hodnoty získané následujícími výpočty jen orientační charakter.

Jednotlivé složky nákladů byly vyčísleny jako kalkulační položky dle daného kalkulačního vzorce:

- | | |
|----------------------------|---|
| 1. Přímý materiál | (PM) |
| 2. + Přímé mzdy | (PMZ) |
| 3. + Ostatní přímé náklady | (OPN) |
| 4. + Výrobní režie | (1 + 2 + 3 + 4 = Vlastní náklady výroby.) |
| 5. + Správní režie | (1 + 2 + 3 + 4 + 5 = Vlastní náklady výkonu.) |
| 6. + Odbytová režie | (1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6 = Úplné vlastní náklady výkonu.) |
| 7. + Zisk | |
- = Cena výlisku (bez DPH).

7.1 Přímé náklady^{37,50,54,55}

Přímé náklady lze přiřadit přímo k jednotlivému výkonu bez nutnosti dalšího rozpočítávání. Vyjadřují se na kalkulační jednici, tedy měrnou jednotku daného výkonu (např. kus, kg, h). Jedná se o položky kalkulačního vzorce PM, PMZ a OPN.

Vstupní data:

Předpokládaná sériovost:	$Q = 150\,000$ ks/rok
Množství svitků potřebných na 1 sérii:	$n_{sv} = 72$ ks
Počet kusů z 1 svitku	$n_{ks} = 2\,096$ ks

7.1.1 Přímý materiál

- Hmotnost všech potřebných svitků plechu ($M_{S/celk.}$): 216 000 kg

$$M_{S/celk.} = m_{sv} \cdot n_{sv} \quad (7.1)$$

$$M_{S/celk.} = 3\,000 \cdot 72 = 216\,000 \text{ kg}$$

- Částka potřebná k zakoupení všech svitků plechu⁵⁰ ($C_{S/celk.}$): 4 536 000 Kč

$$C_{S/celk.} = M_{celk.} \cdot c_{sv} \quad (7.2)$$

$$C_{S/celk.} = 216\,000 \cdot 21 = 4\,536\,000 \text{ Kč}$$

- Hmotnost jednoho výlisku (m_v): 0,65 kg/ks

$$m_v = S_v \cdot \rho_{oceli} \cdot s \quad (7.3)$$

$$m_v = 16\,475,931 \cdot 7,85 \cdot 10^{-6} \cdot 5 \cong 0,65 \text{ kg/ks}$$

- Hmotnost všech výlisků na výrobní sérii ($M_{V/celk.}$): 97 500 kg

$$M_{V/celk.} = m_v \cdot Q \quad (7.4)$$

$$M_{V/celk.} = 0,65 \cdot 150\,000 = 97\,500 \text{ kg}$$

- Hmotnost odpadu z výrobní série ($M_{O/celk.}$): 118 500 kg

$$M_{O/celk.} = M_{S/celk.} - M_{V/celk.} \quad (7.5)$$

$$M_{O/celk.} = 216\,000 - 97\,500 = 118\,500 \text{ kg}$$

- Zhodnocení odpadu ($C_{odp.}$) při výkupní ceně odpadu 3,50 Kč/kg.³⁷: 414 750 Kč

$$C_{odp.} = M_{O/celk.} \cdot 3,50 \quad (7.6)$$

$$C_{odp.} = 118\,500 \cdot 3,50 = 414\,750 \text{ Kč}$$

- Náklady na přímý materiál (N_{PM}): 5 778 750 Kč

$$N_{PM} = C_{S/celk.} - C_{odp.} + (M_{V/celk.} \cdot C_{zinek}) \quad (7.7)$$

$$N_{PM} = 4\,536\,000 - 414\,750 + (97\,500 \cdot 17) = 5\,778\,750 \text{ Kč}$$

Náklady na přímý materiál byly zvýšeny o částku za provedenou povrchovou úpravu dílce žárovým zinkováním. Tato částka se stanovuje z hmotnosti materiálu po pozinkování⁴⁴, přičemž zvýšení hmotnosti může být až 5%. Nad 3 000 kg je cena $C_{zinek} = 17,-$ Kč/kg.

- Přímý materiál – náklady na jednici (N_{PMj}): 38,60 Kč/ks

$$N_{PMj} = \frac{N_{PM}}{Q} \quad (7.8)$$

$$N_{PMj} = \frac{5\,778\,750}{150\,000} = 38,525 \text{ Kč/ks}$$

S uvážením prodeje odpadu činí náklady na přímý materiál: 5 778 750 Kč
 Náklady na jednici byly výpočtem určeny ve výši: 38,60 Kč

7.1.2 Přímé mzdy

Vstupní data:

Počet pracovníků obsluhujících lis: jeden
 Mzdový tarif ($C_{prac.}$) pracovníka obsluhujícího lis: 130,- Kč/h
 Čas (t_{sv}) potřebný na založení a ustavení nového svitku materiálu: 0,5 h
 Délka jedné pracovní směny (t_{sm}) 7,5 h
 Kontrolní čas v rámci směny (t_k) 0,5 h
 Počet zdvihů beranu lisu (n_{zdvih}) $15 \cdot \text{min}^{-1}$

- Počet výlisků ($n_{V/hod.}$) vyrobených za jednotku času (1 h): 900 ks/h

$$n_{V/hod.} = n_{zdvih} \cdot 60 \quad (7.9)$$

$$n_{V/hod.} = 15 \cdot 60 = 900 \text{ ks/h}$$

- Počet výměn svitků za jednu pracovní směnu ($n_{S/výměna}$): 4krát

$$n_{S/výměna} = \frac{(t_{sm} - t_k) \cdot n_{sv} \cdot n_{V/hod.}}{Q} \quad (7.10)$$

$$n_{S/výměna} = \frac{(7,5 - 0,5) \cdot 72 \cdot 900}{150\,000} = 3,024$$

- Počet výlisků ($N_{V/směna}$) vyrobených za pracovní směnu (7,5 h): 4 500 ks/směna

$$N_{V/směna} = n_{V/hod.} \cdot [t_{sm} - t_k - (n_{S/výměna} \cdot t_{sv})] \quad (7.11)$$

$$N_{V/směna} = 900 \cdot [7,5 - 0,5 - (4 \cdot 0,5)] = 4\,500 \text{ ks/směna}$$

- Počet směn potřebných k vyrobení jedné série výlisků ($n_{směn}$): 34 směn

$$n_{směn} = \frac{Q}{n_{V/směna}} \quad (7.12)$$

$$n_{směn} = \frac{150\,000}{4\,500} \cong 33,3$$

- Celkový čas potřebný k vyrobení jedné série výlisků ($n_{hod.}$): 255 h

$$n_{hod.} = n_{směn} \cdot t_{sm} \quad (7.13)$$

$$n_{hod.} = 34 \cdot 7,5 = 255 \text{ h}$$

- Náklady na mzdu pracovníka obsluhy lisu (N_M): 33 150 Kč

$$N_M = n_{hod.} \cdot C_{prac} \quad (7.14)$$

$$N_M = 255 \cdot 130 = 33\,150 \text{ Kč}$$

- Celkové náklady na přímé mzdy (N_{PMZ}): 44 421 Kč
(Včetně zdravotního (9 %) a sociálního (25 %) pojištění.)

$$N_{PMZ} = N_M \cdot 1,34 \quad (7.15)$$

$$N_{PMZ} = 33\,150 \cdot 1,34 = 44\,421 \text{ Kč}$$

- Přímá mzda – náklady na jednici (N_{PMZj}): 0,30 Kč/ks

$$N_{PMZj} = \frac{N_{PMZ}}{Q} \quad (7.16)$$

$$N_{PMZj} = \frac{44\,421}{150\,000} \cong 0,296 \text{ Kč/ks}$$

Celkové náklady na přímé mzdy: 44 421 Kč
Jednicové náklady na přímé mzdy byly vyčísleny ve výši: 0,30 Kč

7.1.3 Ostatní přímé náklady

- OPN jsou vyčísleny jako 20 % nákladů na přímé mzdy. 8 884,20 Kč

$$N_{OPN} = OPN \cdot N_{PMZ} \quad (7.17)$$

$$N_{OPN} = 0,20 \cdot 44\,421 = 8\,884,20 \text{ Kč}$$

- Ostatní přímé náklady na jednici (N_{OPNj}). 0,06 Kč/ks

$$N_{OPNj} = \frac{N_{OPN}}{Q} \quad (7.18)$$

$$N_{OPNj} = \frac{8\,884,20}{150\,000} \cong 0,059 \text{ Kč/ks}$$

7.2 Nepřímé náklady^{54,55}

Částky za výrobní a správní režii a částku představující náklady na výrobu sdruženého postupového nástroje nelze přiřadit přímo k výrobku (kalkulační jednici). Jedná se o nepřímé náklady, které se vyjadřují v procentech vztažně ke zvolené rozvrhové základně a je tedy nutné je daným způsobem rozpočítat. Jako rozvrhová základna byly zvoleny přímé mzdy.

- Správní režie (SR) 35 536,80 Kč

Zahrnuje náklady na správu podniku (např. nájmy, odpisy provozních budov, ostrahu, administrativu) a pro účely následujícího výpočtu byla stanovena ve výši 80 % celkových nákladů na přímé mzdy.

$$N_{SR} = SR \cdot N_{PMZ} \quad (7.19)$$

$$N_{SR} = 0,8 \cdot 44\,421 \cong 35\,536,80 \text{ Kč}$$

- Výrobní režie (VR) 66 631,50 Kč

Zahrnuje náklady na řízení a obsluhu výroby (např. odpisy výrobních prostředků, údržbu strojů a zařízení, energie) a pro účely následujícího výpočtu byla stanovena ve výši 150 % celkových nákladů na přímé mzdy.

$$N_{VR} = VR \cdot N_{PMZ} \quad (7.20)$$

$$N_{VR} = 1,5 \cdot 44\,421 = 66\,631,50 \text{ Kč}$$

- Částka za výrobu nástroje ($C_{nástroje}$) 900 000,- Kč
(Částka byla stanovena odhadem dle ceny obdobných nástrojů⁵⁶.)

7.3 Celkové náklady; zisk^{44,54,55,59}

Celkové náklady jsou vyčísleny jako součet jednotlivých nákladových položek a následně vyjádřeny i na jednotku produkce.

Zároveň jsou zvýšeny o částku za provedenou povrchovou úpravu dílce žárovým zinkováním. Tato částka se stanovuje z hmotnosti materiálu po pozinkování⁴⁴, přičemž zvýšení hmotnosti může být až 5%. Nad 3 000 kg je cena $C_{zinek} = 17,-$ Kč/kg.

Do celkových nákladů nejsou započítány ceny na pořízení lisu a přídatných zařízení – předpokládá se, že firma toto zařízení již vlastní.

- Celkové náklady (N_C) 6 834 223,50 Kč

$$N_C = N_{PM} + N_{PMZ} + N_{OPN} + N_{SR} + N_{VR} + N_N \quad (7.21)$$

$$N_C = 5\,778\,750 + 44\,421 + 8\,884,20 + 35\,536,80 + 66\,631,50 + 900\,000$$

$$N_C = 6\,834\,223,50 \text{ Kč}$$

- Celkové náklady na jednici (N_{Cj}) 45,60 Kč

$$N_{Cj} = \frac{N_C}{Q} \quad (7.22)$$

$$N_{Cj} = \frac{6\,834\,223,50}{150\,000} \cong 45,561 \text{ Kč}$$

- Cena výlisku včetně zisku (N_{zisk}) 59,30 Kč

Pro výpočet byla použita zisková přírážka ve výši 30 %.

$$N_{zisk} = N_{Cj} \cdot 1,3 \quad (7.23)$$

$$N_{zisk} = 45,60 \cdot 1,3 \cong 59,28 \text{ Kč}$$

- Marže 23 %

- Tržba za výrobní sérii (T_C): 8 895 000 Kč

$$T_C = N_{zisk} \cdot Q \quad (7.24)$$

$$T_C = 59,30 \cdot 150\,000 = 8\,895\,000 \text{ Kč}$$

- Zisk z výrobní série (Z_C) 2 060 776,50 Kč

$$Z_C = T_C - N_C$$

$$Z_C = 8\,895\,000 - 6\,834\,223,50 = 2\,060\,776,50 \text{ Kč}$$

7.4 Bod zvratu⁵⁵

Bodem zvratu je v souvislosti s produkcí firmy míněno takové množství, kdy není vykázán žádný zisk, ale ani ztráta, tj. tržby se rovnají vynaloženým nákladům. Analýza bodu zvratu se využívá pro vyčíslení počátku rentability výroby a vypočítá se následovně.

- Fixní náklady (FN) 1 002 168,30 Kč

$$FN = N_{SR} + N_{VR} + C_{nástroje} \quad (7.25)$$

$$FN = 35\,536,80 + 66\,631,50 + 900\,000 = 1\,002\,168,30 \text{ Kč}$$

- Variabilní náklady na jednici (vn) 39,00 Kč

$$vn = N_{PMj} + N_{PMZj} + N_{OPNj} \quad (7.26)$$

$$vn = 38,60 + 0,30 + 0,06 = 38,96 \text{ Kč}$$

- Bod zvratu (Q_0) 49 368 ks

$$T_C = N_C$$

$$N_{zisk} \cdot Q = FN + vn \cdot Q$$

$$Q_0 = \frac{FN}{N_{zisk} - vn} \quad (7.27)$$

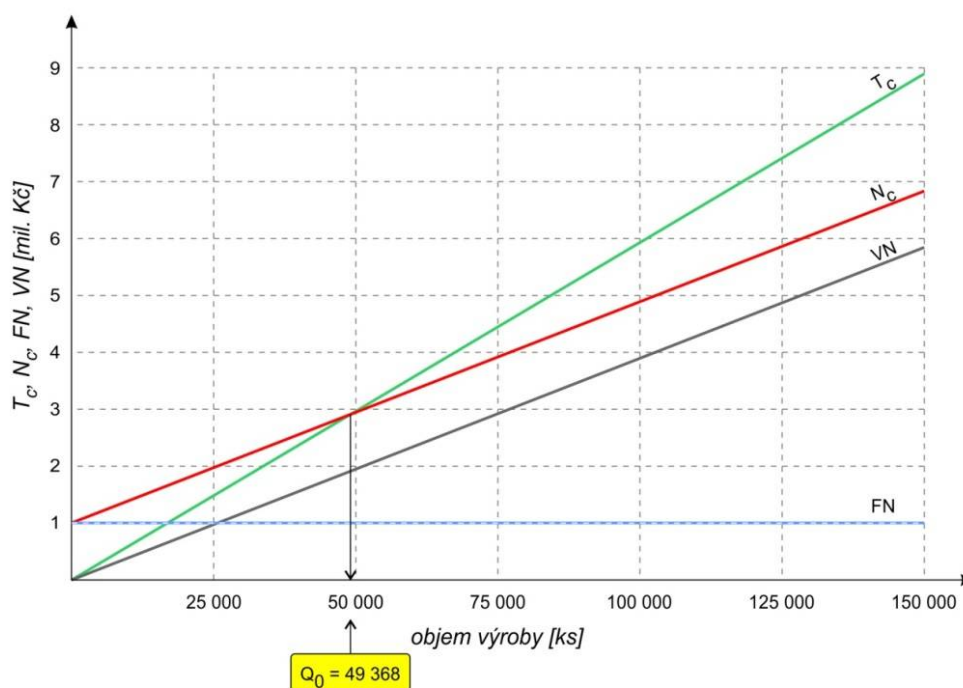
$$Q_0 = \frac{1\,002\,168,30}{59,30 - 39,00} \cong 49\,367,897 \text{ ks}$$

7.5 Shrnutí

Výsledky provedeného technicko-ekonomického zhodnocení lze shrnout následovně:

- Celkové náklady na výrobní sérii 150 000 ks dosahují výše 6 834 223,50 Kč.
- Očekávaný zisk z prodeje celé výrobní série byl vyčíslen na 2 060 776,50 Kč.
- Minimální množství výlisků, které je zapotřebí vyrobit a následně i prodat aby započalo dosahování zisku, bylo výpočtem stanoveno na 49 368 ks.
- Prodejní cena jednoho výlisku při zohlednění 30% ziskové přírážky je 59,30 Kč, přičemž marže představuje 23 %.
- Náklady na výrobu jednoho výlisku činí 45,60 Kč.
- Originální hák byl zakoupen za částku 150,- Kč/ks bez DPH.

Bod zvratu (Q_0) je graficky znázorněn na obrázku 50.



Obr. 50 Bod zvratu.

ZÁVĚR

Tato diplomová práce si kladla za cíl zvýšení efektivity výroby dílce, který slouží k upevnění rámu pro solární vakuový kolektor. Při výběru vhodného materiálu, tvaru dílce a způsobu jeho výroby bylo zapotřebí vzít v potaz různá hlediska, která by mohla výrobu zadaného dílce ovlivnit, a to jak v pozitivním, tak v negativním slova smyslu.

Originální dílec je zhotoven jako svařenec dvou samostatných částí – ploché ocelové desičky s otvory pro přišroubování do krokve a několika ohyby tvarovaného užšího pásku oceli sloužícího k přichycení rámu vakuového kolektoru. Použitým materiálem je korozi-vzdorná ocel tloušťky 5 mm.

Na základě rozboru byla provedena změna technologie výroby, a to na výrobu plošným tvářením pomocí sdruženého postupového nástroje. Dále byl změněn výchozí materiál (jakost použité oceli). V rámci konstrukční změny byl posunut oválný otvor tak, aby při tvarování materiálu nedocházelo k jeho deformaci a současně provedena drobná úprava rozměrů a vzhledu dílce tak, aby byl použitelný pro většinu používaných střešních tašek. Vzhledem k tomu, že dílec je vystaven extrémním povětrnostním vlivům byla zvolena povrchová úprava dílce nanesením ochranné vrstvy žárového zinku.

Tvarování dílce ve sdruženém postupovém nástroji je provedeno v devíti krocích. Nástroj je konstruován tak, aby bylo možné provést ohyby materiálu jak dolů, tak i nahoru. Ohyb směrem dolů je realizován ohybníkem, ohyby směrem nahoru prostřednictvím ohybových vložek připevněných v přidržovači a za pomoci plynových pružin.

V návaznosti na výše uvedené byly provedeny potřebné výpočty, na základě kterých byl pro výrobu zvolen lis výrobce ANDRITZ, typ Kaiser 8000. Tento lis může být použit jak pro postupové, tak pro transferové nástroje. Mezi jeho výhody patří jednoduché odbavení odpadu vzhledem k umístění propadové šachty po téměř celé délce stolu. Vzhledem k tomu, že je použit servo pohon, řadí se však tento lis mezi energeticky náročnější.

Závěrem bylo provedeno ekonomické zhodnocení, na jehož základě byla určena cena dílce ve výši 59,30 Kč/ks včetně ziskové příirážky ve výši 30 % a s 23% marží. Pro porovnání je uvedena i částka, za kterou byl zakoupen originální dílec: 150,- Kč bez DPH. Výroba by začala být rentabilní po dosažení objemu 49 368 vyrobených kusů, za uvedených podmínek.

Zadaný dílec lze vyrobit několika různými technologiemi, avšak na základě provedeného rozboru, výpočtů a výše uvedených skutečností se použití technologie plošného tvářením pomocí sdruženého postupového nástroje jeví jako nejvýhodnější. Nicméně způsob výroby předložený v této diplomové práci zůstává otevřený případným inovacím.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. WESTECH SOLARTECHNIK. Montážní návod vakuového trubicového kolektoru Tube-Power WT-B-58, GR-SWP-58 [online]. [vid. 2016-09-15]. Dostupné z: <http://www.sticka.cz/user/10774/upload/stuff/files/6263711-solarni-westech-wt-b-58-montazni-navod.pdf>
2. VOTAVA, Ondřej. *Úvod do spektroskopických metod*. Přednáška. [online]. [vid. 2016-11-30]. Dostupné z: <http://www.njh.cz/seminare/13569847/1270589>
3. REICHL, Jaroslav a Martin VŠETIČKA. *Encyklopedie fyziky*. [online]. [vid. 2016-11-30]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/539-spektra-latek>
4. BRABEC, Petr a Filip BARTŮŇEK. *Fyzika 007*. [online]. [vid. 2016-11-30]. Dostupné z: <http://www.fyzika007.cz/optika/spektralni-analyza>
5. INOX, spol. s r.o. [online]. [vid. 2016-10-15]. Dostupné z: <http://www.inoxspol.cz/nerezova-ocel-14301.html>
6. TumliKOVO. Metal Cutting Technologies. [online]. [vid. 2016-10-15]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/korozivzdorne-a-zarupevne-oceli-tridy-17jejich-slozeni-a-tepelne-zpracovani/>
7. Euro Inox. *Nové vstříc starému – Korozivzdorná ocel při modernizaci a obnově*. 2008 (Stavební série, svazek 12). ISBN 978-2-87997-289-3. [online]. [vid. 2016-10-15]. Dostupné z: http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro_Inox/New_meets_Old_CZ.pdf
8. MACHÁČEK Josef. *Přednáška Nerez-2*. [online]. [vid. 2016-10-15]. Dostupné z: <http://people.fsv.cvut.cz/~machacek/prednaskyNerez/Nerez-2.pdf>
9. TERAPOL spol. s r. o. *Nerez ocel*. [online]. [vid. 2016-10-15]. Dostupné z: <http://www.terapol.cz/clanek/no-vap-hlavni-skupiny>
10. Internetový obchod s nerezovým materiálem. [online]. [vid. 2016-11-30]. Dostupné z: <http://www.nrezmaterial.cz/rady>
11. Asociace českých a slovenských zinkoven. *Příručka žárového zinkování*. 2011. [online]. [vid. 2016-12-04]. Dostupné z: <http://zarova-zinkovna.meaz.cz/upload/ck/files/prirucka-zaroveho-zinkovani.pdf>
12. TALPA – RPF, s. r. o. [online]. [vid. 2016-12-03]. Dostupné z: <http://www.rezeme-vodou.cz/rezani-vodnim-paprskem.php>
13. KOŘÁN, Pavel. *Seriál na téma lasery – laserové řezání (laser cutting)*. Publikováno 20. 5. 2011. [online]. [vid. 2016-12-03]. Dostupné z: <http://www.lao.cz/lao-info-49/serial-na-tema-lasery---laserove-rezani-laser-cutting-129>

14. HÁJEK Pavel: Výroba krytu. Brno, 2014. 95 s., CD. FSI VUT v Brně, Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce doc. Ing. Zdeněk Lidmila, CSc.
15. Technická univerzita Liberec, Fakulta strojní, Katedra strojírenské technologie, Oddělení tváření kovů a plastů. [online]. [vid. 2016-12-03]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/01.htm
16. Akademie tváření: Stříhání. [online]. [vid. 2016-10-30]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/akademietvareni-strihani.html>
17. Technická univerzita Liberec, Fakulta strojní, Katedra strojírenské technologie, Oddělení tváření kovů a plastů. [online]. [vid. 2016-12-03]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/mtk/MTK1.pdf
18. Innomia a.s. [online]. [vid. 2016-12-03]. Dostupné z: <http://www.innomia.cz/3d-tisk>
19. PKmodel s.r.o. [online]. [vid. 2016-12-03]. Dostupné z: <http://www.pkmodel.cz/3dtisk.html>
20. FaM Tools.cz [online]. [vid. 2016-12-04]. Dostupné z: <http://www.famtools.cz/postupove-sdruzene-nastroje-lisy>
21. KOTOUČ, Jiří. *Tvářecí nástroje*. 1. vyd. Praha: České vysoké učení technické, 1993. ISBN 80-01-01003-1.
22. ČSN 22 6015. *Lisovací stroje. Stříhadla a střížné vřetě. Směrnice pro výpočet a konstrukci*. Praha: Český normalizační institut, 1975.
23. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2006. ISBN 80-214-2374-9.
24. Centrum celoživotního vzdělávání Uherský Brod. [online]. [vid. 2016-12-04]. Dostupné z: <http://slideplayer.cz/slide/3306002/>
25. SPŠ Kolín. [online]. [vid. 2016-12-07]. Dostupné z: http://www.sps-ko.cz/documents/STT_obeslo/Tvareni_za_studena.pdf
26. Akademie tváření: Ohýbání. [online]. [vid. 2016-10-30]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-ohybani.html>
27. FOREJT, Milan. *Ročníkový projekt I – tváření, svařování: Syllabus pro studium bakalářského studijního programu STROJÍRENSTVÍ*. Brno, 2002 (novela 2012). Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/rocnikovy_projekt_I_forejt.pdf

28. TATÍČEK, František, Martin KUBELKA a Tomáš PILVOUSEK. Akademie tváření: Technologičnost konstrukce v návrhu výstřížku. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2011, roč. 2011, č. 12 [vid. 2013-10-17]. DOI: 111213. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-technologickost-konstrukce-v-navrhu-vystrizku.html>
29. NOVOTNÝ, Josef a Zdeněk LANGER. *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, n. p., 1980.
30. ČSN 01 7009 *Výpočet rozvinutých délek ohýbaných součástí*. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1973.
31. ČSN 22 7340 *Ohýbadla. Všeobecné požadavky na konstrukci a výpočet*. Praha: Český normalizační institut, 1990.
32. ALFUN a.s. [online]. [vid. 2013-10-17]. Dostupné z: <http://www.alfun.cz/o-oceli>
33. LEINVEBER, Jiří a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky*. Úvaly: ALBRA – pedagogické nakladatelství. 2011. ISBN 978-80-7361-081-4.
34. BOBČÍK, Ladislav. *Střížné nástroje pro malosériovou výrobu*. vyd. 1. Praha: SNTL, 1983.
35. ČSN ISO 2768-1 *Všeobecné tolerance. Nepředepsané mezní úchytky délkových a úhlových rozměrů*. Praha: Vydavatelství norem, 1992.
36. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. Brno: Nakladatelství VUT v Brně, 1992, ISBN 80-214-0401-9.
37. KOVOKOM ŠROT s. r. o. [online]. [vid. 2017-04-02]. Dostupné z: <http://www.kovokomsrot.cz/cenik-vykupu-kovu/>
38. Xtra, s.r.o. [online]. [vid. 2016-10-22]. Dostupné z: http://www.xtra-solar.cz/kolektory_24_mm.htm
39. TERMS a.s. [online]. [vid. 2016-10-22]. Dostupné z: <http://eshop.terms.eu/cz/e-shop/967863/c68824-montazni-material/stresni-hak.html>
40. MW – kW a.s. [online]. [vid. 2016-10-22]. Dostupné z: <http://www.mw-kw.cz/stresni-haky/>
41. DINO SERVIS s.r.o. [online]. [vid. 2016-10-22]. Dostupné z: <http://www.dinoservis.cz/sortiment/fotovoltacke-elektrarny/montazni-dily/stresni-stavitelny-al-hlinikovy-hak.html>

42. ČSN EN 10025-2 *Výrobky válcované za tepla z konstrukčních ocelí. Část 2: Technické dodací podmínky pro nelegované konstrukční oceli*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
43. Feron, a.s. [online]. [vid. 2016-12-15].
Dostupné z: <http://www.ferona.cz/cze/index.php>
44. KONDOR, s.r.o. [online]. [vid. 2016-12-15].
Dostupné z: <http://www.kondor.cz/zarove-zinkovani/t-159/>
45. Fakulta strojní Západočeské univerzity v Plzni. Katedra konstruování strojů. *Postupové střížné nástroje*. [online]. [vid. 2017-01-04]. Dostupné z:
http://kks.zcu.cz/export/sites/kks/projekty-ver-fin/OPVK_PU/KA_04_publikace/KA04_POSTUPOVE_STRIZNE_NASTROJE.pdf
46. Střední škola technická Opava. *Technologie*. [online]. [vid. 2017-01-04].
Dostupné z: <http://sst.opava.cz/technologie/technologie.pdf>
47. ČSN EN 10088-2 *Korozivzdorné oceli – Část 2: Technické dodací podmínky pro plechy a pásy z ocelí odolných korozi pro obecné použití*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2015.
48. MM Průmyslové spektrum. *Software pro konstrukci a výrobu nástrojů*. [online]. [vid. 2017-01-21]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/software-pro-konstrukci-a-vyrobu-nastroju.html>
49. ČSN 41 1375 *Ocel 11375*. Praha: Český normalizační institut, 1994.
50. ArcelorMittal Distribution Czech Republic s.r.o. [online]. [vid. 2017-01-12].
Dostupné z:
http://ds.arcelormittal.com/cee/czech_republic/o_spolecnosti/o_spolecnosti/language/C
51. ČSN EN 10051 *Kontinuálně za tepla válcované pásy a plechy stříhané z širokého pásu z nelegovaných a legovaných ocelí – Mezní úchytky rozměrů a tolerance tvaru*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
52. DVOŘÁK, Milan a kol. *Technologie II*. Brno: Akademické nakladatelství CERM. 2001, ISBN 80-214-2032-4.
53. DVOŘÁK, Milan a Michaela MAREČKOVÁ. *Technologie tváření. Studijní opory pro kombinované studium I. stupeň, 2 ročník*. Brno: [online]. [vid. 2017-01-21].
Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/technologie_tvareni/
54. JUROVÁ, Marie. *Řízení výroby*. Brno: Akademické nakladatelství CERM. 2011, ISBN 978-80-214-4370-9.

55. HERALECKÝ, Tomáš. *Manažerská ekonomika*. Soubor přednášek. VUT Brno, Fakulta podnikatelská. 2016.
56. ŽĎAS, a. s. [online]. [vid. 2017-03-28]. Dostupné z: <http://www.zdas.cz>
57. ANDRITZ Headquarters, ANDRITZ AG, Austria [online]. [vid. 2017-04-02]. Dostupné z: <http://www.andritz.com>
58. NOVOTNÝ, Karel. *Výrobní stroje a zařízení. Část: Tvářecí stroje*. [online]. [vid. 2017-04-02]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/vyrobní_stroje_a_zarizeni__novotny.pdf
59. VirtueMart.cz [online]. [vid. 2017-04-16]. Dostupné z: <http://www.virtuemart.cz/blog/jak-zvysit-prodej/marze-rabat-prirazka-a-jak-se-pocitaji.html>
60. technology-support s.r.o. [online]. [vid. 2017-04-20]. Dostupné z: <https://www.t-support.cz/>
61. Wiegel CZ žárové zinkování s.r.o. [online]. [vid. 2017-05-12]. Dostupné z: <http://cz.wiegel.de/>
62. ČSN EN ISO 1461 *Zinkové povlaky nanášené žárově ponorem na ocelové a litinové výrobky – Specifikace a zkušební metody*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
63. KRÁLOVOPOLSKÁ, a.s. [online]. [vid. 2016-05-30]. Dostupné z: <http://www.kralovopolska.cz/produkty-a-sluzby/destruktivni-a-nedestruktivni-zkousky>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Popis
IT	toleranční stupeň přesnosti
SC	střižnice
SK	střižník
m	střední třída přesnosti pro tolerování rozměru

Symbol	Jednotka	Popis
A, B, C, D, E	[mm]	délky ramen (rovných částí) a příslušných oblouků, zohledňující i tloušťku materiálu
A_5	[%]	tažnost na krátké tyči
A_{cU}	[J]	práce vykonaná při ohybu materiálu do tvaru „U“ (včetně kalibrace)
A_o	[J]	ohýbací práce
A_s	[J]	střižná práce
$C_{energie}$	[Kč]	náklady na spotřebovanou energii
$C_{nástroje}$	[Kč]	částka za výrobu nástroje
$C_{odp.}$	[Kč]	zhodnocení odpadu
$C_{prac.}$	[Kč/h]	částka na hodinovou mzdu pracovníka obsluhujícího lis
$C_{S/celk.}$	[Kč]	částka potřebná k zakoupení všech potřebných svitků plechu
C_{zinek}	[Kč]	částka za žárové zinkování
D_{sv}	[mm]	vnější průměr svitku
E	[MPa]	modul pružnosti v tahu
F	[N]	střižná síla
F_C	[N]	celková střižná síla
F_{cU}	[N]	celková síla při ohybu s kalibrací
FN	[Kč]	fixní náklady
F_O	[N]	celková ohýbací síla
F_{oU}	[N]	ohýbací síla při ohybu do tvaru „U“

F_{oV}	[N]	maximální ohýbací síla při ohybu do tvaru „V“
F_p	[N]	síla přidržovače
F_{pr}	[N]	síla pružiny
F_u	[N]	stírací síla
F_v	[N]	protlačovací síla
I	[mm ⁴]	kvadratický moment setrvačnosti kruhového průřezu
JR	[mm]	jmenovitý rozměr výrobku
L, L_1, L_2, L_3, L_4	[mm]	rozvinutá délka
L_{sv}	[mm]	délka svitku
$M_{Ocelk.}$	[kg]	hmotnost odpadu z výrobní série
$M_{Scelk.}$	[kg]	hmotnost všech potřebných svitků plechu
$M_{Vcelk.}$	[kg]	hmotnost všech výlisků na výrobní sérii
N_C	[Kč]	celkové náklady
N_{Cj}	[Kč]	celkové náklady na jednici
N_{fix}	[Kč]	fixní náklady
N_M	[Kč]	náklady na mzdy pracovníka obsluhy lisu
N_{OPN}	[Kč]	ostatní přímé náklady
N_{OPNj}	[Kč]	ostatní přímé náklady na jednici
N_{PM}	[Kč]	náklady na přímý materiál
N_{PMj}	[Kč]	přímý materiál – náklady na jednici
N_{PMZ}	[Kč]	celkové náklady na přímé mzdy
N_{PMZj}	[Kč]	přímé mzdy – náklady na jednici
N_{SR}	[Kč]	náklady na správní režii
N_V	[Kč]	částka na výrobu jednoho výlisku
N_{VR}	[Kč]	náklady na výrobní režii
N_{var}	[Kč]	variabilní náklady
N_{zisk}	[Kč]	náklady na výlisek včetně zisku
O	[mm]	střížný obvod
OPN	[Kč]	ostatní přímé náklady
P	[mm]	přípustná míra opotřebení

P_{lisu}	[kW]	příkon lisu
PM	[Kč]	přímý materiál
PMZ	[Kč]	přímé mzdy
Q	[ks/rok]	výrobní série
Q_0	[ks]	bod zvratu
R	[mm]	vnitřní poloměr ohybu
R_a	[μm]	průměrná aritmetická úchylka profilu
RAD	[mm]	rozměr střížnice při děrování
RAV	[mm]	rozměr střížníku při vystřihování
R_e	[MPa]	mez kluzu
RED	[mm]	rozměr střížníku při děrování
REV	[mm]	rozměr střížnice při vystřihování
R_m	[MPa]	mez pevnosti v tahu
R_{min}	[mm]	nejmenší poloměr ohybu
$R_{p0,2}$	[MPa]	smluvní mez kluzu
S_o	[mm ²]	celková plocha výstřižků
S_p	[mm ²]	plocha pásu plechu
S_s	[mm ²]	dosedací plocha
SR	[Kč]	správní režie
TA	[mm]	výrobní tolerance střížníku
T_C	[Kč]	tržba za výrobní sérii
TE	[mm]	výrobní tolerance střížnice
TS	[mm]	tolerance jmenovitého rozměru
VN	[Kč]	variabilní náklady
VR	[Kč]	výrobní režie
Z_C	[Kč]	zisk z výrobní série
a, b	[mm]	délky ramen (rovných částí)
a_m	[-]	1,5 až 2násobek střížné mezery
a_o	[mm]	délka ramene ohybu
b_s	[mm]	šířka ohýbané součásti

c	[-]	koeficient závislý na stupni stříhu
c_I	[-]	součinitel vyjadřující vliv tření ohýbané součásti o pevnou čelist s ohledem na délku ramene
c_{ocel}	[-]	koeficient pro ocel
c_v	[mm]	vzdálenost břitu nože od působíště síly přidržovače
d	[mm]	průměr osazení střížníku
d_{sc}	[mm]	průměr střížnice
d_{sk}	[mm]	průměr střížníku
d_{st}	[mm]	průměr střížníku
d_{sv}	[mm]	vnitřní průměr svitku
h_{el}	[mm]	hloubka elastického vniknutí
h_{pl}	[mm]	hloubka plastického vniknutí
h_s	[mm]	hloubka vniku střížné hrany v okamžiku oddělení
h_U	[mm]	pracovní zdvih při ohybu do tvaru „U“
h_V	[mm]	zdvih (koncová poloha) při ohybu do tvaru „V“
k_I	[mm]	krok
k_B	[-]	koeficient bezpečnosti
k_{eu}	[-]	koeficient zohledňující vliv stříhaného materiálu ($k_{ev} = 0,10$ až $0,13$)
k_{ev}	[-]	koeficient zohledňující vliv stříhaného materiálu a velikost střížné vůle ($k_{ev} = 0,05$)
k_o	[-]	součinitel pro výpočet úhlu odpružení ($k = 0,58$)
k_{oV}	[-]	koeficient průběhu ohýbací síly ($k_{oV} = \frac{1}{3}$)
k_t	[-]	koeficient závislý na druhu a tloušťce stříhaného materiálu ($k_t = 0,35$)
k_v	[mm]	volný okraj pásu
$l, l_1, l_2, l_3, l_4, l_5$	[mm]	délky jednotlivých oblouků dílce
l_0	[mm]	rovná část ramene, sevřená mezi ohybníkem a ohybnicí
l_{krit}	[mm]	kritická hodnota délky nejtenčího střížníku
l_m	[mm]	rameno ohybu
l_{st}	[mm]	délka stříhu
l_v	[mm]	vzdálenost ohýbacích hran
m	[mm]	střížná mezera

m_s	[-]	součinitel respektující průběh síly při ohybu [-]; $m_s = 1/6$
m_{sv}	[kg]	hmotnost svitku
m_v	[kg]	hmotnost jednoho výlisku
n	[-]	koeficient zohledňující vnější vlivy při střihání
$n_{hod.}$	[h]	počet hodin potřebných k vyrobení série výlisků
n_{ks}	[ks]	počet výstřižků na pásu
$n_{S/výměna}$	[-]	počet výměn svitků za pracovní směnu
$n_{směn}$	[-]	počet směn potřebných k vyrobení série výlisků
n_{sv}	[ks]	potřebný počet svitků na výrobní sérii
n_v	[ks]	počet výstřižků v neodlehčené části stříhadla
$n_{V/hod.}$	[ks]	počet výlisků vyrobených za jednotku času
$n_{V/směna}$	[ks]	počet výlisků vyrobených za pracovní směnu
n_{zdvih}	[min ⁻¹]	počet zdvihů beranu lisu
r_m	[mm]	poloměr ohybnice
r_p	[mm]	poloměr ohybníku
s	[mm]	tloušťka stříhaného materiálu
$s_{max.}$	[mm]	tloušťka materiálu včetně horní výrobní úchytky
t_k	[h]	kontrolní čas v rámci směny
t_{sm}	[h]	délka jedné pracovní směny
t_{sv}	[h]	čas potřebný na založení a ustavení nového svitku materiálu
v	[mm]	střižná vůle
v_K	[m·s ⁻¹]	kritická nárazová rychlost podle Kármána
vn	[Kč]	variabilní náklady na jednici
v_o	[mm]	vůle mezi pevnou a pohyblivou čelistí na jednu stranu
x	[-]	součinitel posunutí neutrální osy
x_s, y_s	[mm]	délka průmětu části oblouku do roviny
α	[°]	úhel rozevření
β	[°]	úhel ohybu
γ	[°]	úhel odpružení
$\varepsilon, \varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$	[Pa]	deformace v materiálu při ohýbání

η	[%]	součinitel využití materiálu
η_{Celk}	[%]	celkový součinitel využití materiálu
ρ	[mm]	poloměr ohybu neutrální osy
ρ_{oceli}	[kg·m ⁻³]	hustota oceli
$\sigma, \sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$	[Pa]	napětí v materiálu při ohýbání
σ_d	[Pa]	napětí v tlaku
σ_s	[MPa]	napětí mezi dosedací plochou střížníku a deskou
σ_t	[Pa]	napětí v tahu
τ_s	[MPa]	napětí ve smyku

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1: Protokol analýzy – plocháč (30×5) mm
- Příloha 2: Protokol analýzy – plocháč (60×5) mm
- Příloha 3: Nomogram pro stanovení velikosti přepážek odpadu v závislosti na tloušťce materiálu²⁷
- Příloha 4: Výkres součásti – kotvicí prvek solárního kolektoru
(číslo výkresu: DP-144970-A3-1)
- Příloha 5: Výkres součásti – ohybnice krčku (číslo výkresu: DP-144970-A3-2)
- Příloha 6: Výkres součásti – ohybník krčku (číslo výkresu: DP-144970-A3-3)
- Příloha 7: Výkres součásti – střížná matrice „I“ (číslo výkresu: DP-144970-A3-4)
- Příloha 8: Výkres sestavy (číslo výkresu: DP-144970-A1-1)

PŘÍLOHA 1



KRÁLOVOPOLSKÁ, a.s.

KRÁLOVOPOLSKÁ, a.s.
laborator
Křížkova 2989/68a
Královo pole
612 00 Brno
tel. 532041712
fax. 532041717
e-mail: mechanicka.laborator@kralovopolska.cz
web: kralovopolska.cz

Protokol analýzy

Vzorek: Držák - plocháč 30 x 5mm

Datum: 3.6.2016

norma:

prumer tolerance:

C	0,057	%	0,000	-	0,070
Si	0,461	%	0,000	-	1,000
Mn	0,969	%	0,000	-	2,000
P	0,013	%	0,000	-	0,045
S	0,003	%	0,000	-	0,015
Cu	0,085	%			
Al	0,001	%			
Cr.	19,30	%	17,000	-	19,500
Mo	0,058	%			
Ni.	8,90	%	8,000	-	10,500
V	0,115	%			
Ti	0,004	%			
Nb	0,001	%			
Co	0,200	%			
W	0,000	%			
Fe.	69,85	%			

Jakost: 1.4301 X5CrNi18-10

Datum: 6.6.2016

Podpis

PŘÍLOHA 2



KRÁLOVOPOLSKÁ, a.s.

KRÁLOVOPOLSKÁ, a.s.
laborator
Křižíkova 2989/68a
Královo pole
612 00 Brno
tel. 532041712
fax. 532041717
e-mail: mechanicka.laborator@kralovopolska.cz
web: kralovopolska.cz

Protokol analýzy

Vzorek: Držák - plocháč 60 x 5mm

Datum: 3.6.2016

norma:

prumer tolerance:

C	0,048	%	0,000	-	0,070
Si	0,394	%	0,000	-	1,000
Mn	1,606	%	0,000	-	2,000
P	0,019	%	0,000	-	0,045
S	0,003	%	0,000	-	0,015
Cu	0,258	%			
Al	0,002	%			
Cr.	18,83	%	17,000	-	19,500
Mo	0,299	%			
Ni.	8,81	%	8,000	-	10,500
V	0,107	%			
Ti	0,004	%			
Nb	0,006	%			
Co	0,201	%			
W	0,001	%			
Fe.	69,41	%			

Jakost: 1.4301 X5CrNi18-10

Datum:

6.6.2016

Podpis

PŘÍLOHA 3

